

MESTRADO  
SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO

# A gestão dos incêndios rurais no município de Arouca: a relevância do conceito de defensabilidade

Catarina Guedes Magalhães

**M**

2018







**CATARINA GUEDES MAGALHÃES**

**A gestão dos incêndios rurais no município de Arouca: a relevância do conceito de defensabilidade**

Dissertação realizada no âmbito do Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território, orientada pela Professora Doutora Fantina Maria dos Santos Tedim.

Faculdade de Letras da Universidade do Porto

setembro de 2018



# A gestão dos incêndios rurais no município de Arouca: a relevância do conceito de defensabilidade

Catarina Guedes Magalhães

Dissertação realizada no âmbito do Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território, orientada pela Professora Doutora Fantina Maria dos Santos Tedim

## Membros do Júri

Professor Doutor António Alberto Teixeira Gomes  
Faculdade de Letras - Universidade do Porto

Professora Doutora Laura Maria Pinheiro de Machado Soares  
Faculdade de Letras - Universidade do Porto

Professora Doutora Fantina Maria dos Santos Tedim  
Faculdade de Letras - Universidade do Porto

Classificação obtida: 18 valores



## **Declaração de honra**

Declaro que o presente dissertação é de minha autoria e não foi utilizado previamente noutro curso ou unidade curricular, desta ou de outra instituição. As referências a outros autores (afirmações, ideias, pensamentos) respeitam escrupulosamente as regras da atribuição, e encontram-se devidamente indicadas no texto e nas referências bibliográficas, de acordo com as normas de referenciação. Tenho consciência de que a prática de plágio e auto-plágio constitui um ilícito académico.

[Porto, novembro de 2018]

[Catarina Guedes Magalhães]

*“Life’s not about how hard of a hit you can give. It’s about how many you can take and still keep moving forward. ”*

*Rocky Balboa*

# Agradecimentos

O presente trabalho de investigação é o culminar de todo um esforço e dedicação e o seu sucesso só foi possível com o apoio de várias pessoas e instituições. Não sendo possível referir que desde o começo me incentivaram e apoiaram, gostaria de apresentar a minha gratidão nos momentos mais difíceis. Afinal, quem caminha sozinho até pode chegar mais rápido, mas nunca chega mais longe.

À Professora Doutora Fantina Tedim, agradeço para além da sua orientação, a amizade que sempre demonstrou ter comigo. Não poderia estar mais grata por toda a dedicação neste trabalho e pela disponibilidade que sempre apresentou. Obrigado por me ajudar a escrever páginas da minha história, será, para sempre, um capítulo que eu vou gostar de ler.

À Câmara Municipal de Arouca agradeço a disponibilização de alguns dados essenciais para a realização do trabalho.

Ao Doutor Dominic Royé, agradeço a sua amizade e disponibilidade sempre que precisei da sua ajuda.

À Professora Doutora Carmen Ferreira, para além de agradecer o seu incentivo, ensinamentos e amizade ao longo de todo o meu percurso académico, agradeço pelos sorrisos. Foram sem dúvida, fontes de esperança e alento.

Ao Professor Doutor José Teixeira agradeço por me ter acompanhado ao longo destes anos apresentando sempre disponibilidade para me ajudar nas dificuldades.

Ao Doutor Fernando Correia agradeço as horas que passou ao meu lado sempre pronto a ajudar.

Ao Doutor Giuseppe Delogu, agradeço a amizade que sempre demonstrou ter comigo e por todo o conhecimento técnico que partilhou.

Ao Doutor Christophe Buillon agradeço igualmente todo o conhecimento partilhado e por se mostrar sempre disponível.

Ao projeto FIREXTR agradeço toda a experiência adquirida e a oportunidade de aprender.

Aos Bombeiros Voluntários de Crestuma, agradeço toda a compreensão nas horas em que não pude cumprir o meu dever e ainda assim se mostrarem sempre disponíveis para me ajudar.

Ao Bruno Tavares e ao Miguel Pimentel agradeço todo o incentivo ao longo deste percurso. Fazem dos BVCrestuma uma verdadeira casa.

Ao Pedro Silva, agradeço a sua amizade em todas as ocasiões.

Ao meu tio Armindo Magalhães, agradeço toda ajuda em termos informáticos mas acima de tudo por estar "sempre lá" quando era preciso. Dá o verdadeiro sentido à palavra "família".

Ao meu padasto, agradeço toda a dedicação ao longo destes anos. És o exemplo de que o sangue é apenas um detalhe.

Ao meu irmão, agradeço todo o conforto que sempre me deu. Lembras-te de todas as vezes que me embalaste para eu não chorar? Continua a ser assim. Obrigada.

À minha Lu, agradeço por *me ter escolhido* para sua tia. Embora não a possa impedir de sofrer, que saiba que nunca lhe vai faltar abrigo.

À minha mãe, agradeço tudo. Foi com ela que tive o primeiro contacto com a vida, e ainda que nem sempre se reflita, escolheria-a todas as vezes em que nascesse. O cordão umbilical é o único que nunca se corta, na realidade.

À Luísa Freitas, agradeço toda a amizade. Independentemente do rumo da vida, *aos meus olhos nunca ninguém será como tu*.

À Sofia Rocha, não consigo pôr em palavras tudo o que representa para mim. A vida seguramente terá o melhor reservado para ela. Ainda que a viagem seja dura, poderá sair em qualquer estação, que eu estarei lá .

À minha avó, agradeço todo o amor. A presença física é só um aspeto que em nada combina connosco. Serás para sempre o amor da minha vida.

Obrigada a todas as pessoas que sempre me lembraram que se eu precisasse de "uma mão", tinham "duas" disponíveis.



# Resumo

O município de Arouca apresenta uma grande incidência de incêndios rurais, alguns dos quais de grande dimensão como os que sucederam em 2005 e 2016. Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) podem ser aplicados nas diferentes fases de um incêndio, desde a deteção à gestão, sendo igualmente importante na prevenção e na elaboração da cartografia de risco.

Em Portugal, o sistema de combate a incêndios evidencia a importância do ataque inicial para reduzir a probabilidade de ocorrência de eventos extremos. Segundo a Diretiva Operacional Nacional (DON) (ANPC 2018), o ataque inicial terá de ser efetuado até 20 min. Em Arouca este nem sempre é possível, uma vez que uma boa parte do concelho se encontra a mais de 20 min de percurso desde o quartel de bombeiros mais próximo, pelo que várias povoações têm de enfrentar incêndios sozinhas. Atendendo à morfologia do terreno, à dominância da ocupação florestal e à distância ao quartel de bombeiros mais próximo, considerou-se que não basta avaliar o perigo e o risco de incêndio mas também introduzir o conceito de defensabilidade. Defensabilidade entende-se como característica de uma unidade espacial (p.ex. uma comunidade, uma floresta) que no caso de ocorrência de um incêndio pode ser protegida por parte das forças operacionais e que depende da interação entre o tempo da primeira intervenção e a intensidade máxima do incêndio.

Os objetivos deste trabalho são: i) explicar o conceito inovador de defensabilidade que pode ser definido como a capacidade de um território (pelas suas condições de acessibilidade e características da paisagem) de reagir proativa e eficazmente a um incêndio mesmo em condições meteorológicas extremas e ii) apresentar uma original metodologia de avaliação da defensabilidade do território contra os incêndios rurais recorrendo a sistemas de informação geográfica. De modo a avaliar a defensabilidade foi criado um modelo concetual que integra as seguintes componentes: a rapidez da resposta, as condições de transitabilidade, a existência de pontos de água e a simulação do comportamento do fogo. Neste trabalho foram considerados apenas os três primeiros, uma vez que o último não foi possível operacionalizar em tempo útil.

A implementação deste modelo foi realizada no município de Arouca e permite concluir a importância de considerar este conceito para: i) o pré-posicionamento de meios, com o objetivo que as ignições sejam rapidamente controláveis; ii) a execução de medidas de prevenção estrutural: melhoria de caminhos para melhorar a acessibilidade e a transitabilidade, assim como a construção de pontos de água que possam ser utilizados, mesmo numa situação de falha de energia; iii) redução da vulnerabilidade das populações e das aldeias; e iv) envolver as populações em todo o processo de prevenção do risco de incêndio e auxiliá-las para que tenham um papel ativo na proteção das suas vidas e defesa dos seus bens.

**Palavras-Chave:** Defensabilidade, incêndios rurais, SIG



# Abstract

The municipality of Arouca has a high incidence of wildfires, some of which are large in scale, such as those that occurred in 2005 and 2016. Geographic Information Systems (GIS) can be applied in the different phases of a wildfire, from detection to management, being equally important in the prevention and the elaboration of the cartography of risk.

In Portugal, the fire-fighting system demonstrates the importance of the initial attack to reduce the occurrence of extreme events. According to *Diretiva Operacional Nacional* (DON) (ANPC 2018), the initial attack must be carried out up to 20 min. In Arouca this isn't always possible, once a good part of the municipality is more than 20 min of ride from the nearest fire station, reason why several settlements have to face fires alone. Considering the morphology of the terrain, the dominance of forest occupation and the distance to the nearest fire station, it was considered that it is not enough to assess the danger and risk of fire, but also to introduce the concept of defensibility. Defensibility is understood as a characteristic of a spatial unit (eg a community, a forest) that in a fire event can be protected by the operational forces and depends on the interaction between the time of the first intervention and the intensity of the fire.

The objectives of this work are: i) to explain the innovative concept of defensibility that can be defined as the ability of a territory (by its accessibility conditions and landscape characteristics) to respond proactively and effectively to a fire even in extreme weather conditions; and ii) present an original methodology for assessing the territorial defensibility against wildfires using geographic information systems. In order to evaluate the defensibility, a conceptual model was created that integrates the following components: the speed of response, the conditions of transitivity, the existence of water points and the simulation of fire behavior. In this work only the first three were considered, once the last one wasn't possible to operate in a timely manner.

The implementation of this model was carried out in the municipality of Arouca and allows to conclude the importance of considering this concept for: i) the pre-positioning of means, with the aim that the ignitions are quickly controllable; (ii) the implementation of structural prevention measures: improvement of ways to improve accessibility and transitivity, as well as the construction of water points that can be used, even in a situation of energy failure; (iii) reducing the vulnerability of populations and villages; and (iv) engage the population in the whole process of fire risk prevention and assist them to play an active role in protecting their lives and assets.

**Keywords:** Defensibility, wildfires, GIS



# Índice

<b>Índice</b>	<b>9</b>
<b>Índice de figuras</b>	<b>11</b>
<b>Índice de Fotografias</b>	<b>13</b>
<b>Índice de tabelas</b>	<b>15</b>
<b>Índice de Anexos</b>	<b>17</b>
<b>Glossário</b>	<b>19</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>21</b>
1.1 O fogo: de instrumento de defesa e gestão a risco natural . . . . .	21
1.2 A política de gestão dos incêndios rurais em Portugal . . . . .	23
1.3 Os Sistemas de Informação Geográfica e os incêndios rurais . . . . .	26
1.3.1 O conceito de Risco . . . . .	26
1.3.2 Os Sistemas de Informação Geográfica e os incêndios rurais: da prevenção à recuperação . . . . .	29
1.4 Objetivos . . . . .	30
1.5 Área de Estudo . . . . .	30
1.6 Estrutura da dissertação . . . . .	31
<b>2 Dados e metodologias</b>	<b>33</b>
2.1 Dados . . . . .	33
2.1.1 Trabalho de campo . . . . .	35
2.2 Elaboração da cartografia temática . . . . .	36
2.2.1 MDT . . . . .	36
2.2.2 Rede viária . . . . .	37
2.2.3 Tempos de deslocação . . . . .	41
2.3 Criação do quadro concetual para a definição do conceito de defensabilidade . . . . .	42
<b>3 Caracterização do município de Arouca</b>	<b>45</b>
3.1 Localização geográfica . . . . .	45
3.2 Breve caracterização climática . . . . .	46
3.3 Caracterização morfológica . . . . .	46
3.3.1 Exposição . . . . .	47
3.3.2 Declives . . . . .	48
3.3.3 Altimetria . . . . .	50

3.4	Ocupação do solo . . . . .	50
3.5	Caracterização Humana . . . . .	53
3.5.1	Densidade populacional . . . . .	53
3.5.2	Interface urbano-florestal . . . . .	53
3.6	A incidência dos incêndios rurais . . . . .	57
<b>4</b>	<b>Avaliação das condições de circulação dos meios de combate aos incêndios</b>	<b>65</b>
4.1	A importância da rede viária nos incêndios . . . . .	65
4.2	A extensão da rede viária . . . . .	65
4.3	Transitabilidade . . . . .	68
4.3.1	As características dos veículos de combate . . . . .	68
4.3.2	A transitabilidade . . . . .	68
4.4	Pontos de água . . . . .	80
4.5	O tempo de resposta . . . . .	82
4.5.1	Ataque inicial: o tempo máximo de resposta . . . . .	82
4.5.2	Operacionalização do ataque inicial . . . . .	82
<b>5</b>	<b>A defensabilidade: do conceito à operacionalização</b>	<b>87</b>
5.1	Conceito de defensabilidade . . . . .	87
5.2	Operacionalização do conceito . . . . .	88
5.3	Exemplo de aplicação do conceito de defensabilidade . . . . .	89
5.3.1	Identificação de povoações não defensáveis . . . . .	89
5.3.2	Exemplo de Còvelo de Paivó . . . . .	91
	<b>Conclusão</b>	<b>97</b>
	<b>Bibliografia</b>	<b>99</b>
	<b>Anexos</b>	<b>103</b>

# Índice de figuras

1.1	O conceito de risco adotado pela Autoridade Nacional de Proteção Civil (ANPC) (Julião <i>et al.</i> 2009) . . . . .	27
1.2	Componentes do modelo de Risco. (Direção de Unidade de Defesa da Floresta 2012) . . . . .	28
2.1	Tipologia das áreas de interface urbano-florestal . . . . .	34
2.2	Antes (A) e depois (B) da vetorização da rede viária do município de Arouca. .	38
2.3	Antes (A) e depois (B) da vetorização dos caminhos florestais do município de Arouca. . . . .	40
2.4	Modelo concetual de defensabilidade. . . . .	43
3.1	Divisão administrativa e enquadramento da área de estudo . . . . .	46
3.2	Exposição no município de Arouca . . . . .	48
3.3	Declives da área de estudo. . . . .	49
3.4	Modelo Digital de Terreno da área de estudo. . . . .	50
3.5	Ocupação do solo da área de estudo. . . . .	51
3.6	Área ocupada pela floresta e pela agricultura na área de estudo. . . . .	52
3.7	Densidade populacional no município de Arouca, por subsecção, em 2011. . . .	53
3.8	Representação do sub-modelo de preparação. . . . .	55
3.9	Área de interface urbano-florestal na área de estudo. . . . .	57
3.10	Área ardida no município de Arouca, independentemente do número de vezes. .	59
3.11	Distribuição dos pontos de ignição segunda ocupação do solo em 2015. . . . .	64
4.1	Rede viária no município de Arouca . . . . .	66
4.2	Acessibilidade dos veículos florestais de combate a incêndios no município de Arouca . . . . .	70
4.3	Estado de limpeza das vias florestais. . . . .	71
4.4	Pontos de cruzamento na área de estudo. . . . .	77
4.5	Pontos de inversão de marcha na área de estudo. . . . .	79
4.6	Pontos de água na área de estudo segundo a sua tipologia. . . . .	81
4.7	Tempo de resposta dos corpos de bombeiros. . . . .	85
5.1	Gestão do risco. . . . .	88
5.2	Povoamentos que apresentam problemas de transitabilidade e de circulação no interior do núcleo de povoamento. . . . .	90
5.3	Aldeia de Covêlo de Paivó. . . . .	91
5.4	Agricultura em Covêlo de Paivó. . . . .	92
5.5	Recorrências de incêndios rurais na área de estudo. . . . .	92

---

5.6	<i>Buffer zone</i> de 55 m nas vias de comunicação envolventes à povoação (A área edificada da aldeia corresponde à categoria de ocupação do solo Territórios artificializados). . . . .	93
5.7	Identificação da área não defensável- exemplo da aldeia de Covêlo de Paivó (A) e <i>zoom</i> à aldeia (B). . . . .	95



# Índice de Fotografias

4.1	Veículo ligeiro de combate a incêndios . . . . .	69
4.2	Veículo florestal de combate a incêndios . . . . .	69
4.3	Exemplo de caminho florestal limpo. . . . .	73
4.4	Exemplo de caminho florestal parcialmente obstruído. . . . .	74
4.5	Exemplo de caminho florestal obstruído. . . . .	75



# Índice de tabelas

1.1	Número de incêndios e área ardida (ha) em 2015 e 2016, nos países do sul da Europa . . . . .	21
1.2	Tipologia das áreas de interface urbano-florestal . . . . .	24
2.1	Origem dos dados utilizados. . . . .	33
2.2	Velocidades estimadas de circulação . . . . .	41
3.1	Ocupação do solo na área de estudo . . . . .	52
3.2	Exemplos de definição de interface urbano-florestal. . . . .	54
3.3	Distribuição anual do número de incêndios rurais segundo dimensão em função do tempo potencial de resposta. . . . .	60
3.4	Distribuição anual do número de ocorrência por ha e por tempo de percurso. . .	61
3.5	Distribuição anual do número de ocorrências (2005-2017) . . . . .	62
3.6	Distribuição do número de ignições pelo uso e ocupação do solo no município de Arouca. . . . .	63
4.1	Densidade de estradas municipais por freguesia na área de estudo. . . . .	67
4.2	Densidade dos caminhos florestais na área de estudo. . . . .	67
4.3	Transitabilidade das estradas municipais no município de Arouca . . . . .	72
4.4	Transitabilidade dos caminhos florestais na área de estudo. . . . .	72
4.5	Distribuição da transitabilidade pelo estado de limpeza dos caminhos florestais. .	76
4.6	Classe de declives e as suas condicionantes . . . . .	83



# Índice de Anexos

A.1	Dados utilizados. . . . .	105
A.2	Dados utilizados. . . . .	106
A.3	Survey 123 . . . . .	107
A.4	Área das freguesias . . . . .	108
A.5	Exposição por freguesia na área de estudo. . . . .	109
A.6	Distribuição de declives por freguesia.. . . .	110
A.7	Área ocupada pela floresta e pela agricultura na área de estudo. . . . .	111
A.8	Exemplo de subsecção da área de estudo. . . . .	111
A.9	Extensão da rede viária do município de Arouca em Km . . . . .	112
A.10	Exemplo da Aldeia de Telhe. . . . .	112
A.11	Exemplo da Aldeia de Cabreiros. . . . .	113
A.12	Exemplo da Aldeia de Carvalhais. . . . .	113
A.13	Exemplo da Aldeia de Castanheira. . . . .	114
A.14	Exemplo da Aldeia de Covêlo de Paivó. . . . .	114
A.15	Exemplo da Aldeia de Quintela. . . . .	115
A.16	Exemplo da Aldeia de Tebilhão. . . . .	115



# Glossário

<b>ANPC</b>	Autoridade Nacional de Proteção Civil
<b>AVAT</b>	Aviões de ataque ampliado
<b>BAL</b>	Base de apoio logístico
<b>BP</b>	Bolsa de peritos
<b>BSB</b>	Batalhão de Sapadores Bombeiros
<b>CAOP</b>	Carta Administrativa Oficial de Portugal
<b>CATA</b>	Companhia de Reforço para Ataque Ampliado
<b>CB</b>	Corpo de Bombeiros
<b>CBS</b>	Corpos de Bombeiros
<b>CDOS</b>	Comando Distrital de Operações de Socorro
<b>CMA</b>	Centro de Meios Aéreos
<b>CNAF</b>	Corpo Nacional de Agentes Florestais
<b>COS</b>	Carta de Uso e Ocupação do Solo
<b>DECIR</b>	Dispositivo Especial de Combate a Incêndios Rurais
<b>DFCI</b>	Defesa da Floresta Contra Incêndios
<b>DGOGF</b>	Direção-geral de Ordenamento e Gestão Florestal
<b>DGT</b>	Direção Geral do Território
<b>ECIN</b>	Equipas de Combate a Incêndios
<b>EIP</b>	Equipa de Intervenção Permanente
<b>ELAC</b>	Equipa Logística de Apoio ao Combate
<b>ENB</b>	Escola Nacional de Bombeiros
<b>ESF</b>	Equipa de sapadores florestais
<b>FEB</b>	Força Especial de Bombeiros
<b>GCIF</b>	Grupo de Combate a Incêndios Florestais

**GE** Google Earth

**GIPS** Grupo de Intervenção, Proteção e Socorro

**GNR** Guarda Nacional Republicana

**GRIF** Grupos de Reforço para Combate a Incêndios Florestais

**Gruata** Grupos de Reforço para Ataque Ampliado

**GT** Gabinetes técnicos

**GTF** Gabinete técnico florestal

**Heata** Helicópteros de ataque ampliado

**Heati** Helicópteros de ataque inicial

**ICNF** Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas

**INE** Instituto Nacional de Estatística

**IRSTEA** *Institut National de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture*

**MARAC** Meios aéreos de avaliação e coordenação

**MDT** Modelo Digital de Terreno

**OSM** Open Street Map

**PDDFCI** Plano Distrital de Defesa da Floresta contra Incêndios

**PMDFCI** Plano Municipal de Defesa da Floresta contra Incêndios

**PNDFCI** Plano Nacional de Defesa da Floresta contra Incêndios

**POM** Plano Operacional Municipal

**PROF** Plano Regional de Ordenamento Florestal

**RISE** Rede de Informação de Situações de Emergência

**RSB** Regimento de Sapadores Bombeiros

**SHP** shapefile

**SIG** Sistemas de Informação Geográfica

**SIRESP** Gestão de Redes Digitais de Segurança e Emergência

**UF** União de Freguesias

**URL** Unidades de reserva logística

**VFCI** Veículo florestal de combate a incêndios

**VLCI** Veículo ligeiro de combate a incêndios



# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 O fogo: de instrumento de defesa e gestão a risco natural

A floresta é um recurso essencial para Portugal, representando uma enorme importância na balança comercial nacional, onde representa 10 % das exportações e 4% das importações (ICNF 2016); mas Portugal é o país da Europa mais afetado por incêndios rurais, com uma incidência média anual de 3% da sua área florestal (Mateus e Fernandes 2014), apresentando-se como um dos países com maior número de ignições e com maior extensão de área ardida na Europa (Tabela 1.1). No ano de 2016, do total de área ardida nos países do sul da Europa (316 866 ha), Portugal apresentou-se como aquele que mais contribuiu para este número, com mais de 160 000 ha, registando valores superiores relativamente ao ano anterior (contabilizando-se 64 443 ha ardidos em 2015) (San-Miguel-Ayanz *et al.* 2017).

Tabela 1.1: Número de incêndios e área ardida (ha) em 2015 e 2016, nos países do sul da Europa (FONTE: (San-Miguel-Ayanz *et al.* 2017))

País	Número Incêndios		Área Ardida (ha)	
	2015	2016	2015	2016
Portugal	15851	13261	64443	161522
Espanha	11928	8817	103200	165817
França	4440	4285	11160	16093
Itália	5442	4793	41511	47926
Grécia	510	777	7096	26540
Total	38171	31751	227410	316866

Há 600 000 anos que o fogo é utilizado na Europa (Galiana-Martín 2011), para diversos fins: na defesa, na desflorestação, no controlo da vegetação, na condução dos animais para os locais pretendidos, na renovação das pastagens e na queima de sobranes agrícolas e florestais (Pyne 1997). Funcionou igualmente em vários países como instrumento de manifestação de descontentamento, como arma de resistência e como técnica em conflitos militares (Kuhlken 1999), sendo mais frequente nos períodos de instabilidade política e social (Armiero e Palmieri 2002). Em Portugal, durante o século XX, onde o fogo também foi amplamente utilizado como forma de protesto contra a reflorestação dos baldios (Devy-Vareta 1993), mas tem sido fundamentalmente utilizado como instrumento de gestão, por exemplo na queima de sobranes e renovação de pastagens.

Durante séculos a destruição florestal foi vulgarizada, em virtude das novas ideias que as populações tinham para os espaços que queimavam, uma vez que isso permitiria mais espaço para o cultivo ou para a fixação da população (Penman *et al.* 2013).

Hoje, em Portugal, o sentido evolutivo é inverso. Novas dinâmicas têm ocorrido no espaço rural desde a segunda metade do século XX onde o mundo rural assistiu a um decréscimo da população que, em busca de melhores empregos e de melhores condições de trabalho, começou a emigrar. Esta evolução contribuiu para o envelhecimento da população. Assim, terrenos agrícolas foram abandonados, ficando estes rapidamente ocupados por matos e floresta. Também a tradicional complementaridade entre a agricultura e a criação de gado tem hoje reduzida expressão, devido não só à emigração e ao envelhecimento da população, mas fundamentalmente à introdução de adubos químicos em substituição dos fertilizantes orgânicos tradicionais, o que originou uma acumulação de biomassa nos espaços bravios. Para esta também contribuíram a perda do interesse económico relativamente aos produtos florestais e o desuso desses mesmos produtos para as diversas atividades do quotidiano (como por exemplo a introdução do gás na confeção dos alimentos) e o abandono da agricultura tradicional.

Acrescenta-se ainda a expansão de explorações florestais monoculturais. Segundo as estatísticas oficiais referenciadas no 6º Inventário Florestal (ICNF 2013) a superfície das espécies florestais diminuiu no período entre 1995 e 2010, nomeadamente o pinheiro bravo-bravo, os carvalhos, a azinheira e o sobreiro. Em contrapartida, e atendendo ao reduzido retorno dos incêndios e às necessidades da indústria de celulose, o eucalipto foi a espécie florestal que registou maior crescimento em termos de superfície. O mesmo aconteceu com o pinheiro-manso e o castanheiro, que devem o seu crescimento.

Todas estas transformações conduziram a uma maior carga combustível, maior homogeneidade e conectividade da paisagem, aumentando a probabilidade de ocorrência de incêndios rurais, e sobretudo o aparecimento de eventos extremos.

Atualmente, reconhece-se que muitas das áreas onde outrora vulgarmente se utilizava o fogo, nomeadamente nas que englobam as características mediterrâneas, são hoje áreas de elevado risco de incêndio florestal.

Um incêndio florestal é definido como *“a fire burning uncontrolled on lands covered wholly or in part by timber, brush, grass, grain, or other flammable vegetation”* (NWCG 2018).

Em Portugal, como os incêndios afetam não só as áreas florestais mas também espaços agrícolas e áreas de interface urbano rural optou-se por utilizar o termo incêndio rural neste trabalho. Apesar de terem ocorrido grandes incêndios rurais antes da década de 70 do século XX, como Viana do Castelo (1962) e Boticas (1964), estes não eram considerados um problema para a floresta portuguesa, o que só veio a acontecer a partir dos anos 80. Nunca se havia registado qualquer ocorrência com uma área ardida igual ou superior a 10 000 hectares até ao ano de 1986, quando no município de Vila de Rei ocorreu um incêndio de 10 000 ha, o que afetou mais de 50% da área do município e aproximadamente 80% da área florestal. A partir desse ano, outros sucederam-se com as mesmas características, sugerindo que existiria uma nova realidade em relação aos incêndios rurais (Lourenço 1986).

Habitualmente, os incêndios são caracterizados em função da área ardida, no entanto é mais importante ter em consideração o seu comportamento (intensidade, velocidade de propagação, frequência e distância das projeções).

Uma das definições de comportamento de fogo extremo é estabelecida pelo National Wild-fire Coordinating Group (NWCG 2017) e implica um nível de desenvolvimento do fogo que apresenta características limitadoras de métodos de ataque direto e está normalmente associado a altas velocidades de propagação, a colunas de ascensão de ar quente e gases. O comportamento extremo do fogo exige a disponibilidade de muitos recursos ou atinge um nível que supera a ca-

pacidade de controlo (Viegas 2012). Os incêndios que apresentem intensidade maior ou igual a 10 000 kW/m na frente de fogo estão para além da capacidade de controlo mesmo nas áreas melhor preparadas do mundo.

Num estudo recente Tedim *et al.* (2018) propõem uma classificação dos incêndios em função do comportamento do fogo e a capacidade de controlo, desenvolvendo e mostrando que os incêndios não são todos iguais (Tabela 1.2). Esta classificação diferencia os incêndios normais dos incêndios extremos. Os primeiros caracterizam-se essencialmente pela capacidade de controlo, uma vez que apresentam-se como incêndios de superfície, embora incêndios de copas seja também possíveis. Na categoria 4 (a última do tipo de incêndios normais) a capacidade de controlo é já extremamente difícil tendo de se recorrer ao fogo de supressão. Os incêndios extremos que estão para além de qualquer capacidade de controlo são distinguidos em três categorias: a categoria 5 caracteriza-se por incêndio de copas, orientado pelo vento ou pela coluna de convecção, cuja propagação é imprevisível; na categoria 6, o incêndio é conduzido pela coluna de convecção, onde não se consegue prever o seu comportamento, onde as projeções a longa distância são um fator importante; Por fim, a última categoria, refere-se a incêndios conduzidos pela coluna de convecção e têm uma capacidade destrutiva muito grande.

Ainda que nem todos os incêndios extremos gerem catástrofes, é cada vez mais evidente que estes têm capacidade para isso se a sociedade não estiver preparada. O ano de 2017 em Portugal foi marcado tragicamente pela perda de 112 vidas humanas, mas o que aconteceu em 2017 já tinha sido vivido em 2003 e 2005 (embora com menor expressão) e pode voltar a repetir-se se não forem adotadas medidas preventivas e de preparação da sociedade para enfrentar os incêndios extremos.

## 1.2 A política de gestão dos incêndios rurais em Portugal

A política da gestão dos incêndios rurais encontra-se dispersa por diversos diplomas no entanto, existe um documento estruturante designado Plano Nacional de Defesa da Floresta contra Incêndios (PNDFCI), que surgiu na sequência da necessidade de alterar as condições que conduziram aos catastróficos anos de 2003 e 2005. O PNDFCI foi publicado em 2006 (Resolução do Conselho de Ministros n.º 65/2006, Diário da República n.º 102/2006, Série I-B de 2006-05-26). O PNDFCI considera cinco eixos estratégicos de intervenção (i) aumento da resiliência do território aos incêndios florestais; ii) redução da incidência dos incêndios; iii) melhoria da eficácia do ataque e da gestão dos incêndios; iv) recuperar e reabilitar os ecossistemas; v) adaptação de uma estrutura orgânica e funcional eficaz).

Todavia, a política de gestão dos incêndios continua focalizada na extinção e os Corpos de Bombeiros (CBS) são a principal força operacional responsável pelo combate aos incêndios rurais. A sua responsabilidade foi definida em 1981 (Decreto Lei nº55/81):

*1 - As acções de combate a incêndios florestais são da responsabilidade dos corpos de bombeiros. 2 - As atuais estruturas e encargos da Direcção-geral de Ordenamento e Gestão Florestal (DGOGF) em matéria de instalações e equipamento de combate a incêndios nas zonas florestais sob administração da referida Direcção-Geral serão gradualmente transferidos para o âmbito do sector dos bombeiros, nos termos que resultarem de despacho conjunto dos Ministros da Administração Interna, da Agricultura, Comércio e Pescas e das Finanças e do Plano, ouvidos os departamentos interessados, (Decreto Lei nº55/81, Artigo 16º).*

Categoria dos incêndios	Parâmetros do fogo medidos em tempo real			Manifestações observadas em tempo real no CEF			Tipos de incêndio e capacidade de controlo *		
	II* (kWm <sup>-1</sup> )	VP (m/min)	AC (m)	PyroCb	Downdrafts	Intensidade das projeções	Distância das projeções (m)		
Incêndios normais	1	<500	<5 a) <15 b)	<1.5	Ausente	Ausente	Ausente	0	- Incêndio de superfície. - Bastante fácil.
	2	500–2000	<15 a) <30 b)	<2.5	Ausente	Ausente	Baixo	<100	- Incêndio de superfície. - Moderadamente difícil.
	3	2000–4000	<20 c) <50 d)	2.5–3.5	Ausente	Ausente	Alto	≥100	- Incêndio de superfície, crestamento é possível. - Bastante difícil.
	4	4000–10000	<50 c) <100 d)	3.5–10	Improvável	Em alguns casos sinalizados	Prolífico	500–1000	- Incêndio de superfície, possível incêndio de copas dependendo da vegetação e estrutura florestal. - Dificuldade extrema
Incêndios Extremos	5	10000–30000	<150 c) <250 d)	10–50	Possível	Presente	Prolífico	>1000	- Incêndio de copas, influenciado pelo vento ou coluna de convecção; Projeções desempenham um papel relevante na propagação do incêndio; Possível quebra do incêndio através de um obstáculo à propagação; Propagação do incêndio caótica e imprevisível. - Virtualmente impossível.
	6	30000–100000	<300	50–100	Provável	Presente	Projeções massivas	>2000	- Coluna de convecção, incêndio altamente turbulento; Propagação de fogo caótica e imprevisível; As projeções, incluindo a longa distância, desempenham um papel relevante na propagação do incêndio; Possível quebra do incêndio através de um obstáculo à propagação. - Impossível
	7	>100000 (possível)	>300 (possível) >100 (possível)		Presente	Presente	Projeções massivas	>5000	- Coluna de convecção, incêndio altamente turbulento; Múltiplas ignições, desenvolvimento desorganizado das chamas por causa da turbulência extrema e alta velocidade das projeções. - Impossível

Tabela 1.2: *Classificação dos incêndios, baseados no comportamento do fogo e na capacidade de controlo (II-intensidade do incêndio; VP-Velocidade de propagação; AC- Altura da chama; CEF- Comportamento extremo do fogo. (Fonte: Tedim et al. (2018))*

A partir desta altura, o município surge como a escala principal de intervenção.

A legislação obriga a que todos os municípios do país planeiem as intervenções das diferentes entidades ao nível da prevenção, sensibilização, vigilância, deteção e extinção dos incêndios rurais. Assim, o Plano Municipal de Defesa da Floresta contra Incêndios (PMDFCI) visa operacionalizar ao nível local e municipal as normas contidas na legislação Defesa da Floresta Contra Incêndios (DFCI), no Decreto Lei nº124/2006 de 28 de Junho (Diário da República nº 123/2006), que sofreu várias alterações e que foi republicado na Lei nº76/2017 (Diário da República nº158/2017), nos Plano Regional de Ordenamento Florestal (PROF) e nos Plano Distrital de Defesa da Floresta contra Incêndios (PDDFCI) (ICNF 2012).

Existe ainda um outro plano mais direcionado para a parte operacional: o Plano Operacional Municipal (POM).

*Este engloba ações de vigilância, deteção, fiscalização, intervenção e combate definidas no PMDFCI. É planeado e desenvolvido pelo Gabinete técnico florestal (GTF) e apoiado pela Comissão Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios. O principal objetivo deste POM é fazer frente de forma eficaz e coordenada a um problema grave, que se tornaram os incêndios florestais, abrangendo todas as entidades intervenientes no processo, (...) Pretende-se que o POM sustente eficazmente a Defesa da Floresta Contra Incêndios (...) que garanta uma intervenção imediata nos incêndios nascentes, que permita uma atuação coordenada entre todos os agentes de DFCI, em todas as situações e proteja os espaços florestais e reduza a área ardida em incêndios florestais (ICNF 2012).*

O ano de 2017 surpreendeu a sociedade portuguesa, com vários eventos catastróficos como o de Pedrógão Grande, que ocorreram fora do considerado período crítico de incêndios, claramente demonstrando as limitações do modelo centrado na extinção.

Depois do ano de 2017 novas medidas foram adotadas, como por exemplo, a Agência para a Gestão Integrada de Fogos Rurais e a maior flexibilidade do dispositivo terrestre e aéreo de combate em função do risco. Na mesma linha, e de acordo com o Decreto Lei nº 20/2018 de 23 de março (Diário da República n.º 59/2018), foi reforçada a profissionalização do sistema e a criação de uma Diretiva Única de Prevenção e Combate. Nesta diretiva define-se um Dispositivo Especial de Combate a Incêndios Rurais (DECIR), definido pela ANPC, articulando-se com as entidades envolvidas no combate, garantindo em permanência uma resposta operacional. O dispositivo organiza-se e opera durante todo o ano, sendo reforçado de acordo com os níveis de empenhamento operacional, em função da probabilidade de ocorrência de incêndio. O dispositivo apresenta quatro níveis de empenhamento operacional, onde um nível é permanente e outro reforçado. Deste modo, o nível I corresponde ao nível permanente e funciona no período de 1 de janeiro a 14 de maio e de 1 de novembro a 31 de dezembro, onde existe uma menor probabilidade de ocorrência de incêndio rural. Os níveis II, III e IV, correspondem ao nível reforçado, uma vez que exigem um maior número de meios e uma maior prontidão na resposta operacional. O nível II funciona de 15 a 31 de maio e de 16 a 31 de outubro, correspondendo à primeira fase do empenhamento reforçado. O nível III exige um reforço de meios entre 1 e 30 de junho e de 1 a 15 de outubro. O último nível é o IV e funciona de 1 de julho a 30 de setembro. Para este empenhamento de meios compreende forças de combate oriundas dos CBS, Grupo de Intervenção, Proteção e Socorro (GIPS) da GNR, Força Especial de Bombeiros (FEB) da ANPC Equipa de Intervenção Permanente (EIP) e grupos de intervenção permanente. Em relação aos meios aéreos o DECIR compreende Helicópteros de ataque inicial (Heati), He-

licópteros de ataque ampliado (Heata), Aviões de ataque ampliado (AVAT) e Meios aéreos de avaliação e coordenação (MARAC). O apoio operacional e logístico inclui a Base de apoio logístico (BAL), Centro de Meios Aéreos (CMA) e Unidades de reserva logísticas (URLs). O DECIR compreende ainda: i) técnicos do Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF), da ANPC, e dos Gabinetes técnicos (GT), das câmaras municipais ou outros elementos com capacitação técnica, grupo de especialistas e Bolsa de peritos (BP), ii) Corpo Nacional de Agentes Florestais (CNAF), iii) vigilantes da natureza Equipa de sapadores florestais (ESF) e, iv) equipas da Afocelca. Nos níveis de empenhamento II, III e IV, cada distrito dispõe de: i) Grupo de Combate a Incêndios Florestais (GCIF) com base nas Equipas de Combate a Incêndios (ECIN) e Equipa Logística de Apoio ao Combate (ELAC) e até dois Grupos de Reforço para Ataque Ampliado (Gruata) contratados e instalados nos CBS, ii) três Grupos de Reforço para Combate a Incêndios Florestais (GRIF) da FEB, iii) 3 Companhia de Reforço para Ataque Ampliado (CATA) compostas por meios de proteção e socorro da Guarda Nacional Republicana (GNR), e ainda, iv) o Regimento de Sapadores Bombeiros (RSB) e o Batalhão de Sapadores Bombeiros (BSB) garantem até máximo de GRIF de acordo com disponibilidades.

É notável a aposta que todos os anos se faz no combate e todo o pouco investimento que se tem vindo a fazer na prevenção.

## 1.3 Os Sistemas de Informação Geográfica e os incêndios rurais

### 1.3.1 O conceito de Risco

Uma eficiente prevenção requer uma adequada avaliação do risco de incêndio e um conhecimento das diferentes formas de manifestação do fogo (chama, calor de radiação, fumo e projeções).

As diferentes ações humanas e as transformações espaciais intensificaram e evidenciaram a importância do risco, tornando-se o suporte de qualquer sociedade precípua a proteger. É cada vez mais evidente a pressão que as ações de origem antrópica têm vindo a fazer ao longo dos anos no território criando a necessidade de o ordenar de acordo com a diminuição de riscos que afetem as sociedades.

Os incêndios rurais são um dos riscos a que as populações ficam frequentemente expostas. Deste modo, a temática do risco de incêndio é discutida e estudada por várias disciplinas, denotando-se a dificuldade em se definir um consenso na terminologia. Os termos utilizados são alvo de diferentes perspetivas de interpretação, o que não promove uma concordância neste domínio. Autores como Bachmann e Allgowui (1999), evidenciam que o facto de não existir uma terminologia mais consensual, pode resultar em consequências desastrosas: *the somewhat inconsiderate use of the various terms danger, hazard, and risk may result in misunderstandings that can have fatal consequences* (Bachmann e Allgower 1999, p. 1). De facto, a não existência de uma base terminológica resultante de entendimento comum, pode levar a que sejam feitas abordagens distintas nas metodologias de avaliação e de cartografia de risco.

O termo risco é referenciado na bibliografia sobre incêndios com diferentes significados. Alguns autores definem-no como a probabilidade de ignição de um foco de incêndio, determinada pela presença e atividade de um fator desencadeador (FAO 2011; Hardy 2005; NWCG 2011; Roloff *et al.* 2005), e da sua propagação (Keane *et al.* 2010; Vélez 1985). Outros autores referem que o termo risco também inclui as potenciais consequências sobre os elementos expostos.

A terminologia de risco é utilizada não com a probabilidade de ocorrência de incêndio florestal, mas sim no potencial que este poderá ter para prejudicar a sociedade (Society for risk analysis 2008). Esta perspectiva permite identificar não só a probabilidade de ocorrência de consequências negativas mas também os benefícios que os incêndios podem ter (Bachmann e Allgöwer 2001; Finney 2005; Miller e Landres 2004; Thompson *et al.* 2012). O conceito proposto pela ANPC define-o como a probabilidade de ocorrência de um processo perigoso e da estimativa das consequências para as pessoas, bens ou ambiente, podendo estas ser expressas em danos corporais ou prejuízos materiais. O ICNF (2012) propõe que este resulte da conjugação da perigosidade e do dano potencial. É a probabilidade de perda relacionada com a perigosidade e vulnerabilidade.

O termo risco apresenta assim três definições: ou se considera a probabilidade de ocorrência, ou a probabilidade de ocorrência de danos, ou se considera a vulnerabilidade dos espaços.

No esquema conceptual proposto pela ANPC (Fig. 1.1), dos conceitos associados à gestão do risco salienta-se a suscetibilidade, os elementos expostos e a localização do risco. Para além destes, o esquema engloba o perigo, a severidade, a perigosidade ou a probabilidade do perigo, a consequência ou dano potencial, a vulnerabilidade e as consequências ou danos potenciais.

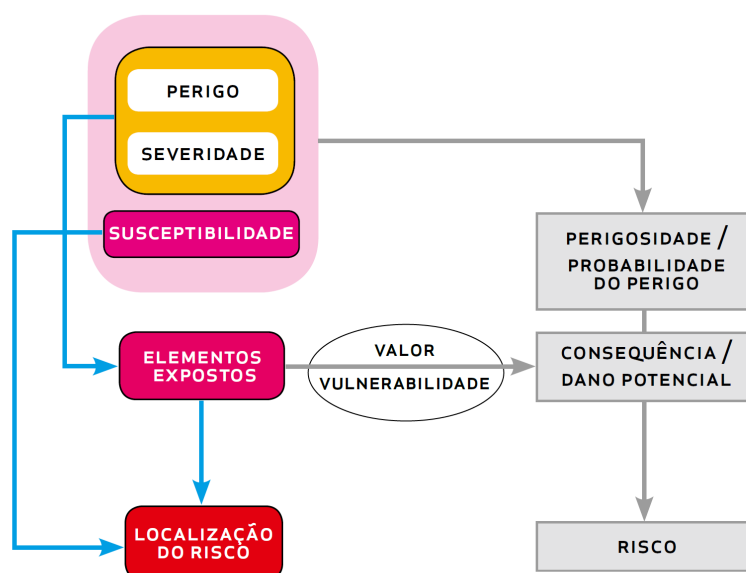


Figura 1.1: O conceito de risco adotado pela ANPC (Julião *et al.* 2009)

A ANPC conceptualiza a suscetibilidade como a incidência espacial do perigo. Consiste na tendência que um determinado espaço apresenta para ser afetado por um perigo, num tempo indeterminado, não considerando o seu período de retorno ou a probabilidade de ocorrência. São considerados elementos expostos todos aqueles que estejam expostos a um determinado risco. Os elementos expostos estratégicos, vitais e ou sensíveis são todos aqueles indispensáveis à resposta à emergência e de suporte básico às populações. O valor monetário dos elementos expostos consiste no custo de mercado da respetiva recuperação. O conceito de perigo é definido como o processo passível de produzir perdas e danos. A severidade consiste na capacidade do processo para produzir danos em função da sua magnitude, intensidade, grau, velocidade um outro parâmetro que expresse o seu potencial destruidor. A probabilidade de ocorrência de um processo ou ação com potencial destruidor e com uma determinada severidade é definida pela ANPC como perigosidade. A vulnerabilidade é classificada através do grau de perda de um

elemento em resultado da ocorrência de um processo danoso. Por último, no esquema conceptual são consideradas as consequências ou os danos potenciais. Estas definem-se pelo prejuízo ou perda expectável num elemento exposto em resultado de um impacto do processo passível de provocar danos.

No esquema concetual proposto pelo ICNF (Fig. 1.2) os conceitos considerados são a suscetibilidade, a probabilidade, a perigosidade, a vulnerabilidade, o valor dos elementos expostos, o dano potencial e o risco. A suscetibilidade é definida como as condições que esse território

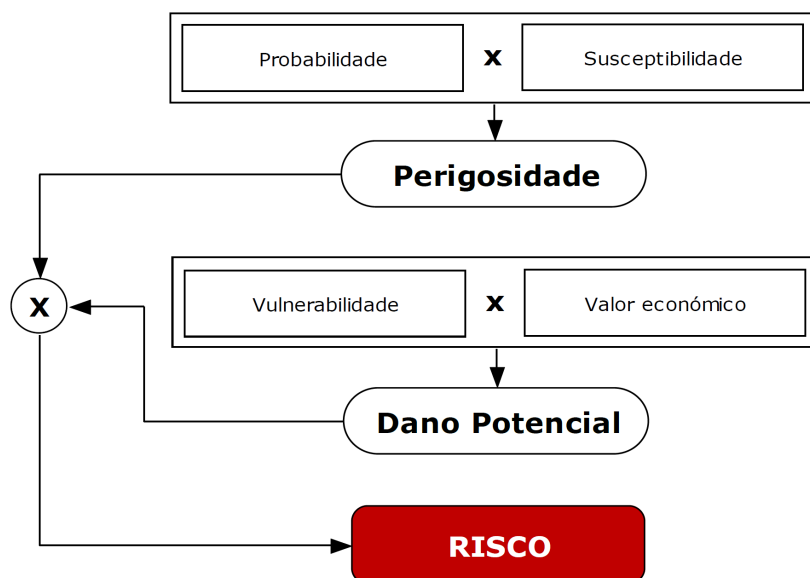


Figura 1.2: Componentes do modelo de Risco. (Direção de Unidade de Defesa da Floresta 2012)

apresenta para a ocorrência de um fenómeno danoso, definindo-se como a perigosidade no espaço. A probabilidade traduz-se como a possibilidade de ocorrer num determinado local e com determinadas condições um fenómeno passível de causar danos. A perigosidade é o resultado da probabilidade e da suscetibilidade. É ao mesmo tempo considerada a vulnerabilidade de uma determinada área. Esta é expressa através do grau de perda que um elemento dessa área está sujeito. Da mesma forma que no modelo conceptual da ANPC, é considerado o valor dos elementos expostos, sendo resumido ao valor de mercado em euros. O produto desta valorização económica e da vulnerabilidade, traduz-se no dano potencial.

Alguns dos componentes do modelo de risco apresentam dificuldades na sua definição. O valor económico é difícil de estabelecer. Uma das principais fragilidades foca-se na valorização monetária dos danos tangíveis e dos danos intangíveis. Questiona-se como se classificam monetariamente os danos que não apresentam um valor de mercado e que são afetados, apresentando-se muitas das vezes, a perda social superior à económica. Já o conceito de dano potencial apresenta uma relação não só com a vulnerabilidade, mas também com a magnitude/intensidade com que o perigo se manifesta, uma vez que os danos e a intensidade aumentam proporcionalmente. A severidade é considerada como a grandeza física do processo, estando em alguns perigos, nomeadamente nos incêndios florestais relacionada com as consequências do fogo nas formações vegetais e que se relaciona com o comportamento do fogo.



### 1.3.2 Os Sistemas de Informação Geográfica e os incêndios rurais: da prevenção à recuperação

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) podem ser definidos como o conjunto de procedimentos e/ou ferramentas informáticas destinadas a efetuar a captura, armazenamento, processamento e disponibilização de dados georreferenciados, através de suportes físicos ou numéricos, baseados em primitivas gráficas de pontos, linhas, polígonos e volumes. A sua grande potencialidade reside no facto de conseguirem integrar dados de diferentes origens, em diferentes formatos, utilizando para tal o seu denominador comum mais natural: a localização.

Os SIG surgiram na segunda metade do século XX quando Roger Tomlinson criou o *Canadian Geographical Information System*. Inicialmente, a sua utilização focalizava-se nos domínios das ciências da terra, contudo, com o desenvolvimento tecnológico e com uma maior disponibilidade de dados, a sua aplicação alargou-se a uma vasta gama de domínios (Goodchild 1992).

Os SIG são uma ferramenta fundamental e podem ser aplicados em diversas vertentes, não sendo apenas uma simples ferramenta de visualização, mas fundamentalmente uma ferramenta de análise espacial e de gestão de dados. Os SIG são uma ferramenta mais fácil e mais rápida do que as abordagens tradicionais em obter e analisar informações.

Na área dos riscos naturais os SIG, podem ser utilizados na avaliação do perigo, na avaliação da vulnerabilidade e na avaliação e gestão do risco, apresentando grandes potencialidades para a gestão das catástrofes, assim como na emergência e na recuperação.

Os SIG podem ser utilizados em todas as fases do ciclo da catástrofe (prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação). Assumindo que a prevenção é a fase mais importante no sentido da diminuição das consequências de um futuro evento, esta deve ser considerada como um processo. Com a prevenção podem ser identificadas áreas de risco e compreender a distribuição geográfica dos incidentes para planear estratégias de mitigação.

Atualmente os SIG apresentam toda a potencialidade para suportar todos os aspetos relacionados com a gestão de incêndios rurais (Plataforma Integrada de Gestão de Riscos 2018). Estes podem ser utilizados na prevenção, na deteção, gestão, monitorização e na recuperação de um incêndio rural. Na prevenção salienta-se a utilização dos SIG na avaliação e na cartografia do risco de incêndio, assim como na localização de faixas de gestão de combustível, de estradas, de pontos de água, de áreas de interface urbano-florestal e na identificação de locais para pré-posicionamento de meios e de vigilância fixa e móvel. Assim, com as informações fornecidas pelas diversas cartografias podem ser tomadas medidas preventivas como mais vigilância das áreas com maior risco, dos melhores acessos ao ponto de ignição e na construção de faixas de gestão de combustível.

A prevenção é a chave para a redução do risco de incêndios rurais. É através do conhecimento do risco que se estabelecem prioridades na prevenção e no combate e para isso é necessário que exista acesso a bases de dados fiáveis, com dados históricos, com a vegetação, o uso e ocupação do solo, a altitude, com as condições meteorológicas e com toda a informação que se torne relevante para o efeito. Os SIG estão capacitados para relacionar todas as informações necessárias. Se as áreas de maior risco e de maior probabilidade de ocorrência de incêndios rurais forem identificadas, existe uma maior facilidade em identificar as áreas prioritárias. Em relação ao combate salienta-se a sua importância na gestão e na posição estratégica dos meios (Ferraz e Vettorazzi 1998).

Os SIG são igualmente utilizados para a modelação do comportamento de incêndios no sentido de estabelecer áreas estratégicas de combate. Estes foram desenvolvidos no sentido da informação espacial ser eficientemente utilizada no suporte à decisão e na gestão do combate.

Verificam-se que estes podem ser utilizados antes, durante e depois da ocorrência de incêndios: antes, na localização de áreas de maior risco e/ou de maior probabilidade de ocorrência de incêndios rurais; durante o evento através das visualizações geoespaciais uma vez que estas são capazes de identificar melhores acessos, velocidade de propagação do incêndio e de identificar as áreas que se encontram em risco para que estas sejam evacuadas; no após o incêndio, para situações de reconstrução de espaços e da delimitação de áreas prioritárias de intervenção.

## 1.4 Objetivos

Os objetivos deste trabalho são: i) explicar o conceito inovador de defensabilidade que pode ser definido como a capacidade de um território (pelas suas condições de acessibilidade e características da paisagem) de reagir proativa e eficazmente a um incêndio mesmo em condições meteorológicas extremas e ii) apresentar uma original metodologia de avaliação da defensabilidade do território contra os incêndios rurais recorrendo a sistemas de informação geográfica. A hipótese de trabalho é que mesmo em condições ideais de prontidão e rapidez de circulação, existem locais que pela inexistência de acessibilidade, pelas deficientes características da rede viária e pelo tipo de uso do solo, não é possível controlar um incêndio na fase de ataque inicial. Este aspeto é importante uma vez que em condições meteorológicas extremas, de grande instabilidade atmosférica e de forte acumulação de combustível, o incêndio pode rapidamente assumir um comportamento que excede a capacidade de controlo. Exemplo desta situação é o incêndio de Pedrogão Grande de 2017 que 30 min após o alerta já estava fora de controlo (Comissão Técnica Independente 2017).

Para além da identificação das áreas não defensáveis do ponto de vista dos meios terrestres, torna-se essencial identificar as áreas em que também os meios aéreos não podem atuar, tornando assim essa área numa das que seria impossível defender num caso de incêndio rural.

É essencial demonstrar a importância que um bom conhecimento do território, nomeadamente das vias rodoviárias apresentam na hora da distribuição de meios. Em todos os cenários, ainda que no comando estejam pessoas que conhecem bem a área de atuação, podem não saber exatamente onde se localizam todos os caminhos que existem e se existem, e se todos os meios disponíveis para o combate conseguem transitar neles. É, igualmente, importante salientar que em diversos teatros de operações participam vários CBS e outros operacionais que não conhecem o terreno onde vão atuar. Acredita-se que com uma cartografia atualizada e disponível ao nível local, seja possível rapidamente distribuir-se os meios de acordo com as condições de defensabilidade. Apenas com esta classificação das vias será possível identificar as áreas que serão defensáveis ou não do ponto de vista dos meios terrestres.

A área de estudo escolhida para a elaboração deste trabalho é o município de Arouca.

## 1.5 Área de Estudo

A escolha do município de Arouca como área de estudo deveu-se: i) à frequência com que é afetado por incêndios rurais, alguns dos quais de grande dimensão e intensidade como foram os que ocorreram em 2005 e 2016; ii) por ser um concelho fundamentalmente florestal com uma forte expressão dos povoamentos de eucalipto (este tipo de uso do solo e a continuidade dos povoamentos florestais favorece a ocorrência de grandes incêndios); e iii) por apresentar uma morfologia acidentada, o que dificulta a circulação em situações de emergência e afeta a acessibilidade dos veículos de combate a incêndios.

## **1.6 Estrutura da dissertação**

Para além da introdução esta dissertação contém um capítulo sobre a metodologia.

Segue-se a caracterização do município de Arouca, tendo em conta a incidência dos incêndios rurais e os aspetos físicos e humanos do concelho. O quarto capítulo aborda o tema da rede viária e a resposta operacional do município. No capítulo cinco faz-se uma abordagem exploratória do conceito de defensabilidade e da forma como este pode ser operacionalizado. Por último, apresentam-se as conclusões do trabalho.



# Capítulo 2

## Dados e metodologias

### 2.1 Dados

Nesta investigação utilizaram-se dados provenientes de várias organizações (Direção Geral do Território (DGT), Instituto Nacional de Estatística (INE), Open Street Map (OSM), Câmara Municipal de Arouca ...) (Tabela 2.1) e dados obtidos por trabalho de campo (Anexo A.1 e Anexo A.2). Todos os outros dados secundários utilizados neste trabalho, são de acesso aberto e estão disponibilizados pelas diferentes instituições. Os dados referentes à rede viária, tiveram origem na plataforma de acesso aberto OSM, o que no município de Arouca correspondia às estradas nacionais, regionais e municipais. Para completar a rede viária, e sendo as vias florestais essenciais para o combate a incêndios rurais, achou-se essencial que estas fossem incluídas na rede viária. A Câmara Municipal de Arouca, disponibilizou a informação relativa às vias florestais, sendo esta, completada com trabalho de campo.

Tabela 2.1: Origem dos dados utilizados.

Origem	Informação disponibilizada
DGT	CAOP 2017 COS 2015
INE	BGRI 2011 Vias Florestais
Câmara Municipal de Arouca	Pontos cotados Curvas de nível
OSM	Rede viária
IRSTEA	Áreas de interface urbano-florestal
ICNF	Área ardida Pontos de ignição

Para a realização de alguma da cartografia temática, a Câmara do município de Arouca disponibilizou ainda, a informação relativa aos pontos cotados e às curvas de nível. De igual forma, o *Institut National de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture* (IRSTEA), disponibilizou a informação relativa às áreas de interface urbano-florestal, correspondentes à área de estudo.

O mapa de interface urbano-florestal do município de Arouca apresentado neste trabalho não foi de elaboração própria. Este foi elaborado utilizando a metodologia criada pelo IRSTE

usando estes um método incluído no *software RUImap*, desenvolvido pelo instituto e que serviu de base para o *software*.

Para a elaboração desta cartografia foram utilizados como *input* a Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP) 2015, a Carta de Uso e Ocupação do Solo (COS) 2007, correspondente ao nível 5, ambas disponibilizadas pela DGT e o edificado do município, disponibilizado pela Câmara Municipal de Arouca.

Segundo o método utilizado pelo IRSTEa, as áreas de interface são definidas num raio de 100 metros em redor das habitações numa distância à floresta inferior a 200 metros. Este método combina as configurações das habitações e a estrutura da vegetação (Fig. 2.1). A configuração das habitações baseia-se na distância entre estas e a forma como estão agrupadas. Para isso, foram definidos quatro tipos de povoamentos: os povoamentos isolados, os dispersos, os agrupados e densamente agrupados.

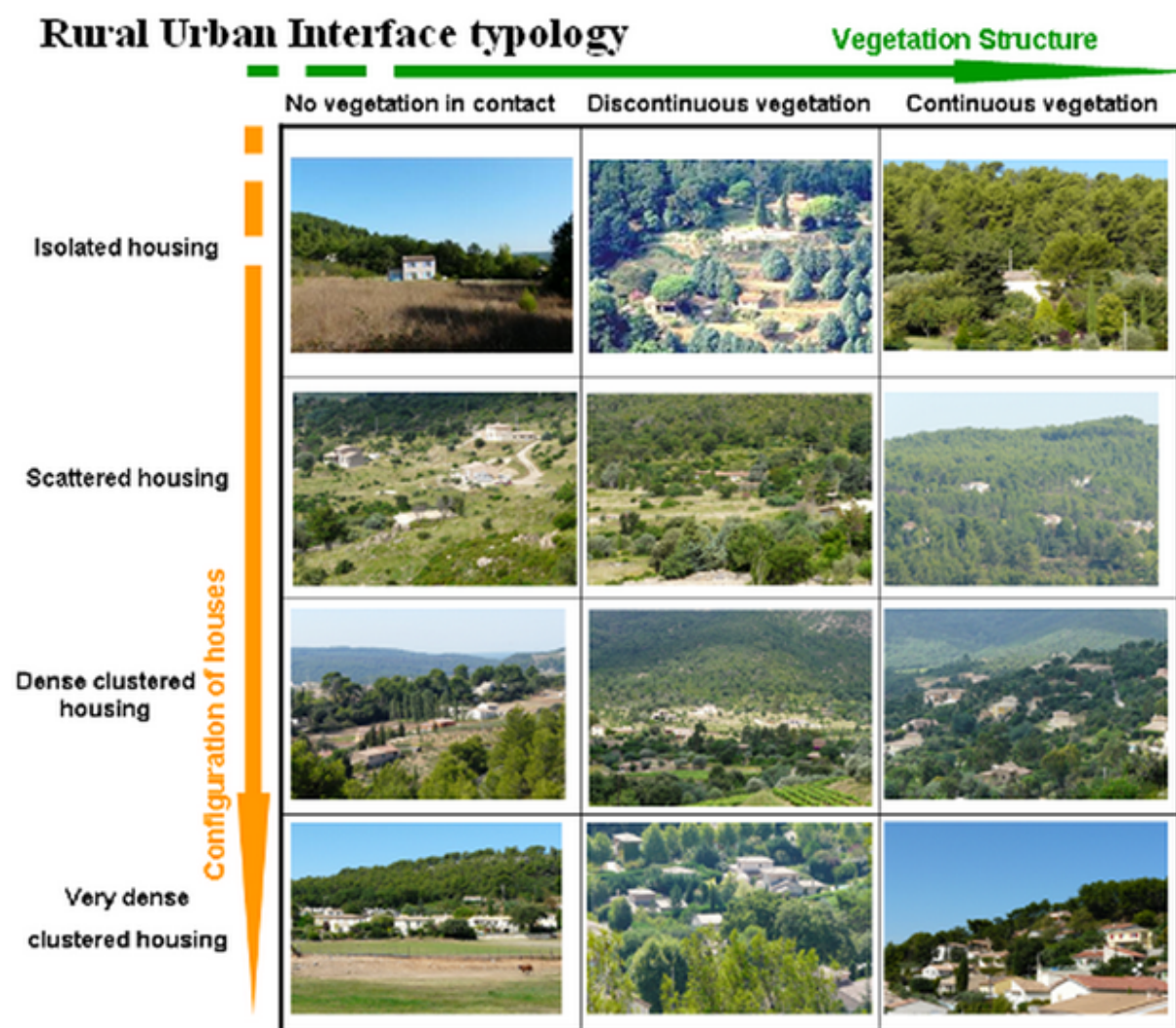


Figura 2.1: Tipologia das áreas de interface urbano-florestal. (Fonte: Lampin-Maillet *et al.* (2009))

Os povoamentos do tipo isolado são todos aqueles que se caracterizam por terem um a três edifícios. Os dispersos estão localizados em áreas onde existem de três a cinquenta edifícios. Os povoamentos classificados como agrupados, são todos aqueles que apresentam mais do que cinquenta edifícios com uma distância entre si nunca superior a 50 metros. Por último estão os povoamentos densamente agrupados, sendo estes os que estão localizados em áreas com mais de cinquenta edifícios, com uma distância entre si inferior a 15 metros.

No que diz respeito à vegetação, neste método distingue-se a presença ou não de vegetação e a sua continuidade ou descontinuidade. Definem-se três níveis diferentes de agregação: i) a agregação igual a zero, o que significa que não existe vegetação, ii) a agregação baixa, onde a vegetação é dispersa e descontínua, e iii) a agregação alta, em que a vegetação é contínua e densa.

Em algumas situações, descritas detalhadamente em pontos seguintes deste trabalho, foi ainda utilizado o navegador Google Earth (GE).

Durante a realização do trabalho de campo foi utilizado o Survey123 para o ArcGIS (Anexo A.3) por se apresentar uma solução simples para o levantamento de dados e por permitir criar, partilhar e analisar os dados levantados no terreno, podendo depois ser facilmente visualizados em âmbito SIG, nomeadamente no ArcGis.

Para a realização deste trabalho recorreu-se à utilização de alguns *softwares* e outras plataformas que serviram não só para a criação da cartografia de base como também para a redação desta dissertação.

A escolha do *softwares* para a produção escrita deste trabalho recaiu sobre o LaTeX 2.12.6.

Foram vários os *softwares* SIG que apoiaram a realização deste trabalho. O principal *software* SIG utilizado foi o ArcGIS 10.5.1, tendo sido neste que se realizou a maioria das operações de análise e visualização de dados espaciais e não espaciais. Para determinadas operações foram igualmente utilizados *softwares* SIG como o Q.GIS 2.18.16 e o SAGA-GIS na versão 6.0.0.

A interface gráfica RStudio 3.4.2 foi igualmente escolhida para operações de análise de maior volume de dados uma vez que nos permite o acesso aos algoritmos e à sua implementação.

### 2.1.1 Trabalho de campo

De forma a verificar as características de todos os caminhos vetorizados foi necessário recorrer ao trabalho de campo. Com recurso a um Ipad onde estava instalado o Survey123 para o Arcgis, importou-se o ficheiro de forma a verificar os locais onde a rede viária florestal se localizava. Preencheram-se as tabelas de atributos referentes aos caminhos florestais, definindo-se como opções de resposta no inquérito: limpo, parcialmente obstruído e obstruído. Após definidas as regras, percorreram-se os caminhos para os definir segundo estas, marcando ainda a sua localização geográfica, de modo a conseguir verificar a sua localização exata. Foi ainda adicionada uma fotografia a cada caminho para comprovar a exatidão das observações. O último passo foi importar esta base de dados e adicioná-la em ambiente SIG, de forma a adicioná-las à shapefile (SHP) correspondente aos caminhos florestais.

Em relação às vias municipais, foi igualmente verificada a largura em todas aquelas onde através do GE se verificava que os veículos não poderiam transitar.

Relativamente aos pontos de água, foi igualmente necessário comprovar a sua acessibilidade por parte dos meios de combate. Definiram-se como pontos de água os tanques de rega, as piscinas e as bocas de incêndio. Da mesma forma que para os caminhos florestais, foram definidas algumas hipóteses de resposta, relativamente à possibilidade de aceder aos tanques de rega podendo esta ser aérea ou mista. Foram considerados de acesso aéreo, todos os tanques que se encontravam livres de vegetação alta, uma vez que os meios aéreos não poderão aceder-lhe se

esta existir à sua volta. Os de acesso misto, foram considerados de acordo com a possibilidade de serem acedidos por parte de meios de combate aéreos e terrestres.

Em relação às piscinas as regras definidas centralizavam-se na existência de possibilidade de acesso aéreo: livre ou com cobertura. Da cartografia final, foram retiradas todas as piscinas que se encontravam cobertas já que não apresentavam relevância para o trabalho. Por fim, relativamente aos hidrantes localizaram-se todos aqueles disponibilizados pela Rede de Informação de Situações de Emergência (RISE).

## 2.2 Elaboração da cartografia temática

Durante a realização deste trabalho, tornou-se essencial a criação de alguma cartografia.

Não descurando a cartografia mais básica, como o enquadramento geográfico da área de estudo com recurso à CAOP, disponibilizada pela DGT, ou a localização de pontos de água e dos CBS, descreve-se com detalhe, neste trabalho, a metodologia referente à rede viária, ao Modelo Digital de Terreno (MDT) e dos tempos de deslocação dos CBS às diferentes áreas do município e a referente às áreas de interface urbano-florestal.

Toda a cartografia apresentada neste trabalho, como foi referido acima, foi elaborada com recurso a alguns *softwares*, nomeadamente o ArcGis 10.5.1. Para cada um dos mapas apresentados, foi criado um projeto no módulo *ArcMap* e o sistema de coordenadas escolhido foi o sistema de projeção oficial ETRS Portugal TM06. É importante realçar que todos os dados dos projetos estão inseridos numa base de dados relacional que armazena informação geográfica denominada por *geodatabase*, sendo que esta pode ser classificada em *Pessoal* ou de *Multiusuários*. A *Personal Geodatabase* baseia-se no *Microsoft Access* e permite o armazenamento de dados, sejam estes do tipo espacial ou do tipo não espacial, cujo limite é de 2GB. No entanto e no sentido de facilitar as diferentes operações e melhorar a rapidez quando se trabalha com questões espaciais complexas, pode recorrer-se à *File Geodatabase*. Esta, insere-se nas *Personal Geodatabases* e está preparada para ser mais eficiente no que diz respeito a grandes volumes de dados e apresenta um limite de 1TB.

As *Geodatabase* de *Multiusuários* permitem, ao contrário das *Personal*, que vários utilizadores possam aceder e manipular os dados ao mesmo tempo, mantendo ainda um alto rendimento.

A *Geodatabase* escolhida para este trabalho foi a *File Geodatabase* por apresentar uma maior capacidade de armazenamento de dados e por não ser necessário a partilha de dados com vários utilizadores.

### 2.2.1 MDT

O MDT descreve a altimetria do terreno e resulta da relação entre diversos tipos de informação geográfica tridimensional com destaque para dados altimétricos e hidrográficos. Os dados altimétricos mais utilizados são as curvas de nível e os pontos cotados. Em contexto SIG, o MDT permite modelar, analisar e visualizar fenómenos diretamente relacionados com a morfologia do terreno. Os modelos mais utilizados para representar a morfologia do terreno são a estrutura TIN e a estrutura *GRID* (Peucker *et al.* 1978).

Neste trabalho optou-se por utilizar os dois modelos, sendo primeiro realizado o modelo TIN uma vez que este se afirma como mais rigoroso na representação do relevo, o que o torna necessariamente mais indicado para representar territórios com relevos mais acidentados. O modelo TIN apresenta-se como uma rede de triângulos segundo a condição de Delaunay, isto é, nenhum dos triângulos da rede se sobrepõe. É um modelo topológico de dados vetoriais no qual as coordenadas x, y e z (localização geográfica e elevação) são ligadas por linhas, que formam



uma rede de triângulos (a partir dos pontos envolventes mais próximos) de dimensões variáveis e o mais equiláteros possíveis.

O modelo GRID é uma representação *raster* onde cada célula está associada a um valor numérico, distribuindo-se numa matriz regular. Para a elaboração do MDT recorreu-se à informação vetorial referente aos pontos cotados e às curvas de nível (que apresentam uma equidistância de 1 metro) disponibilizadas pela Câmara Municipal de Arouca e do limite da área de estudo. O método de interpolação utilizado foi a triangulação de Delaunay o que resultou num total de 6 167 828 triângulos e 3 105 762 nós. Após a elaboração do *TIN*, procedeu-se à sua conversão para o modelo GRID. Para a realização deste modelo foi utilizado o modelo anterior e o método aplicado foi o *Linear* (mantém o valor exato de elevação nos nós do triângulo e considera um comportamento linear dentro de cada um dos triângulos, podendo ser estimado o valor de cada ponto da superfície definida pela rede triangular). Neste modelo definiu-se o valor que cada *pixel* teria, o que resultou numa resolução de um metro, discriminando assim todos os objetos existentes nesse espaço. A utilização de uma tão grande resolução prendeu-se com o facto de se saber que posteriormente seria necessário para a cartografia da rede viária.

### 2.2.2 Rede viária

Em ambiente SIG, foi adicionado o mapa de base correspondente ao GE, sobrepondo-se a rede viária (imagens de 2016) de forma a verificar se toda a rede estava vetorizada e ainda para as diferenciar em Nacionais, Regionais ou Municipais. Ao se verificar que a rede viária se encontrava incompleta, verificaram-se os eixos que se encontravam em falta, ou parte deles, e optou-se, uma vez que não existia uma rede atualizada em formato vetorial, por vetorizá-los manualmente (Fig. 2.2).

Após a rede viária completa, na tabela de atributos do *input* adicionou-se uma nova coluna à qual se deu o nome de "HIERARQUIA", sendo esta preenchida com as diferentes classificações das estradas. Para uma rede viária topologicamente correta foi necessária a sua correção topológica. Para isso no *ArcCatalogue* na pasta correspondente ao projeto, criou-se uma *File Geodatabase* com o nome *Topologia*. Nessa mesma *geodatabase* criou-se um *feature dataset* atribuindo-lhe o mesmo nome, sendo definido o sistema de coordenadas *ETRS PORTUGAL TM06*. Nesta *geodatabase* adicionou-se a rede viária. No *feature dataset* criou-se a topologia. Aqui selecionou-se a rede viária e definiram-se as seguintes regras topológicas: *must not overlap*; *just not have pseudo nodes*; *must not self-overlap*; *must be single part*.

Posteriormente, foi permitido visualizar todos os erros que existiam. Através da ferramenta *inspector error* foram-se corrigindo os erros que o *software* não corrigiu automaticamente. Através da ferramenta *Editor* corrigiram-se esses erros manualmente. Foi ainda necessário distinguir os que eram verdadeiros erros dos que eram exceções. A principal exceção foram as vias sem saída, uma vez que eram consideradas como pontas soltas quando não o eram na realidade.

Relativamente aos caminhos florestais, alguns foram disponibilizados pela Câmara Municipal de Arouca, no entanto verificou-se, através de imagens de satélite, que da mesma forma que as estradas municipais, muitos caminhos se encontravam por vetorizar, sendo estes da mesma forma vetorizados (Fig.2.3). No navegador GE foram-se criando os caminhos, registando-se as coordenadas geográficas de cada um deles. Depois de vetorizados, foram guardados numa pasta num ficheiro do tipo *KML* e adicionadas no *software* ArcGis. Neste *software* foi realizada a sua conversão para SHPs e ainda para o sistema de coordenadas da rede viária.

Sabendo que para o objetivo final do trabalho era fundamental ter a largura dos caminhos, fez-se a sua medição com base no GE. Assim, mediram-se todos os caminhos no início, a meio, no fim, nas curvas e em todos pontos onde se verificava que existia uma variação na largura,

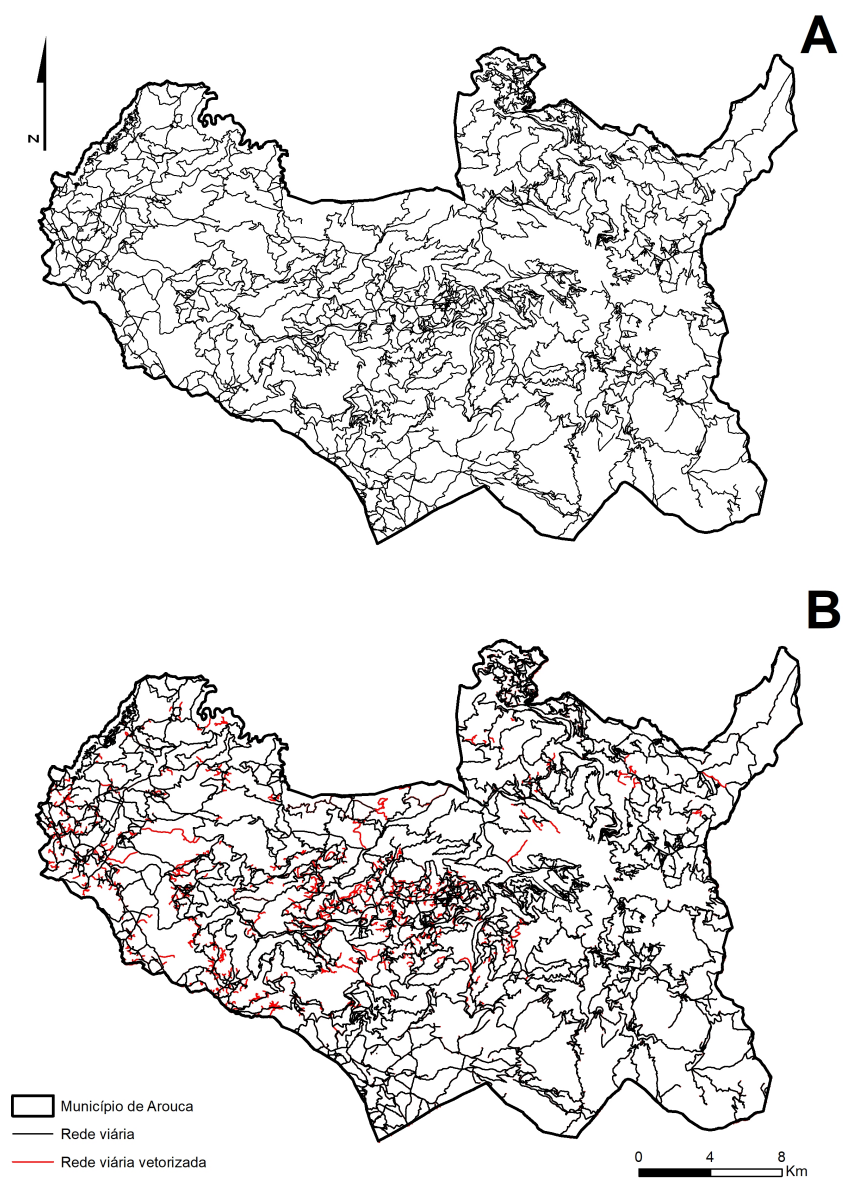


Figura 2.2: Antes (A) e depois (B) da vetorização da rede viária do município de Arouca.

atribuindo-se uma letra diferente para as diferentes condições. No final, todas as medições feitas tinham uma letra atribuída, sendo a letra *C* para as curvas, a letra *M* para as medições iniciais, finais e onde a largura variava significativamente e a letra *R* para todos os locais onde se verificava que a largura era superior ao comprimento dos veículos de combate de incêndios florestais, pois assim, poderiam fazer a inversão de marcha ou poderia existir o cruzamento de veículos desta natureza. Posteriormente, após todos os segmentos se encontrarem medidos, foram exportados e adicionados no *software* ArcGis. Na SHP dos caminhos florestais, foi criada uma nova coluna na sua tabela de atributos à qual se atribuiu o nome de "LARGURA". Para a realização do cálculo da largura recorreu-se ao *INTERFACE RStudio*. Foi definida a projeção WGS1984 e filtraram-se todos os dados de acordo com a geometria "Linestring" uma vez que se sabia que as vias seriam todas do tipo "linha". Após este passo estabeleceu-se que a condição seria: se a largura da via fosse inferior a três metros se atribuiria NO, atribuindo YES a todas as vias com largura superior aos três metros. Este valor foi definido após a verificação da largura que os veículos poderiam ter e de acordo com a largura mínima que a via também deveria ter para que estes transitassem. Assim, após uma pesquisa bibliográfica acerca da largura máxima que os veículos de socorro podem ter, verificou-se que segundo o Decreto-Lei nº 133/2010 de 22 de dezembro, que estes só poderiam ter como largura máxima 2,55 metros (Diário da República n.º 246/2010). De acordo com a Resolução do Conselho de Ministros nº 148-A/2002 de 30 de dezembro, definiu-se que a largura mínima das vias seria de pelo menos 3 metros.

Após a validação da topologia procederam-se as últimas operações para a realização da cartografia. Assim, os *inputs* necessários corresponderam à SHP obtida no *RStudio*, a correspondente às vias florestais e um com os valores de declive. A primeira operação correspondeu à conversão das linhas em pontos através da ferramenta *Feature to point*. Foi utilizada porque cria uma *feature class* que contem pontos gerados a partir dos pontos, linhas ou polígonos que serviram de *input*. O segundo passo passou por cortar a SHP correspondente às vias florestais com base na interseção ou proximidade aos pontos. O *input* foi a SHP das vias florestais e o ficheiro de pontos utilizado foi o gerado no passo anterior. No campo *search radius*, ainda que este fosse opcional, escolheu-se uma margem de 5 metros o que significa que todos os pontos que estão a mais de 5 metros da via foram ignorados. Para se tornar mais fácil a gestão da duas SHP, escolheu-se juntar os dados com base na sua relação espacial, o que deu origem a um novo ficheiro. No ficheiro *output* adicionou-se uma nova coluna com o nome ID. Através da ferramenta *Field calculator* utilizou-se a *query* ID=FiD. A próxima operação centrou-se em converter as linhas em pontos sendo estes gerados através dos vértices do *input*. O *input* utilizado foi o ficheiro final conseguido no ponto anterior. Selecionou-se no campo *tipo de pontos* a opção *All* para que considerasse todos os vértices. Exportou-se a sua tabela de atributos e procedeu-se à sua manipulação no interface *RStudio*. O *script* utilizado foi apenas para extrair os valores máximos do declive o que deu origem a uma nova tabela.

No último passo utilizou-se a ferramenta *join data* e juntar as duas tabelas do passo anterior, estabelecendo-se a *query* final: "max" ≤ 50 and "largura" ≥ 3, sendo o valor de 50 considerado como declive máximo, o que permitiu visualizar os caminhos que poderiam ser utilizados e os que não poderiam.

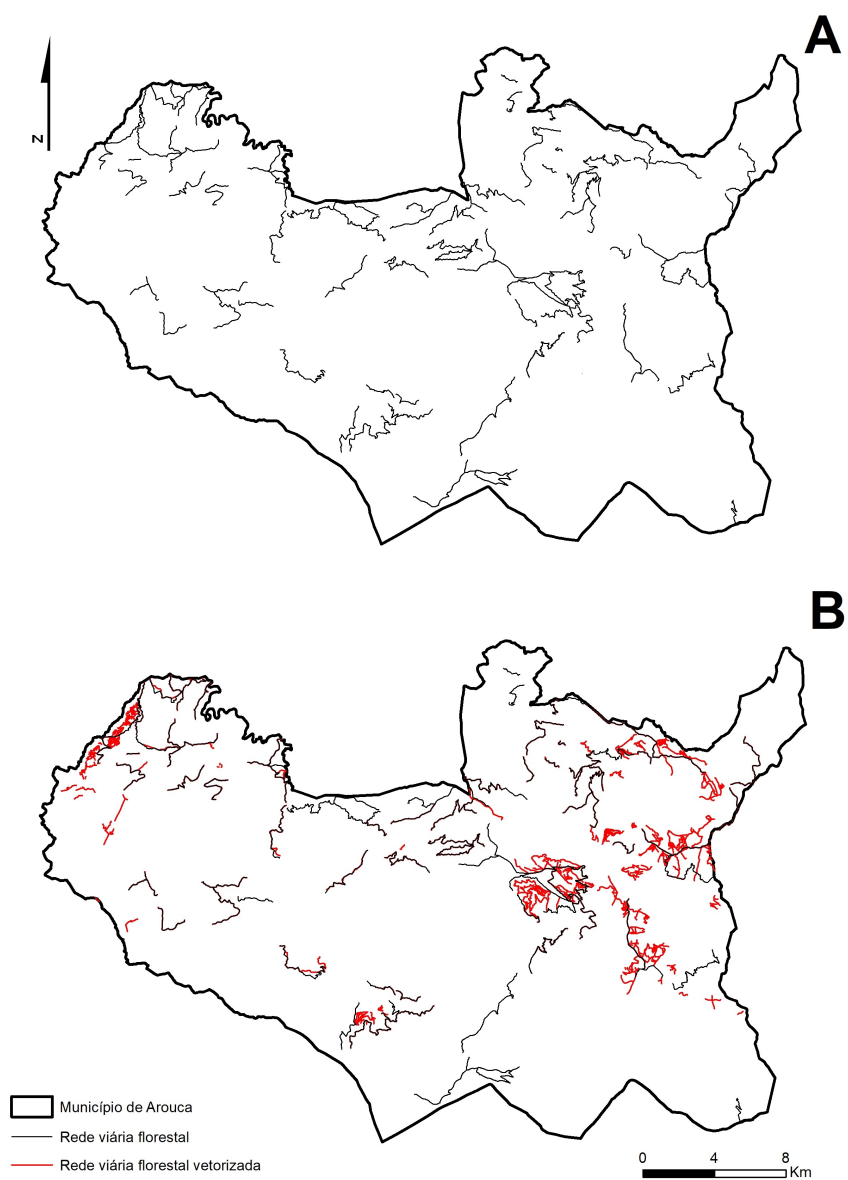


Figura 2.3: Antes (A) e depois (B) da vetorização dos caminhos florestais do município de Arouca.

### 2.2.3 Tempos de deslocação

O sucesso do combate a um incêndio rural é influenciado pela prontidão e rapidez da chegada dos meios de combate ao teatro de operações para darem início ao ataque inicial. A resposta do ataque inicial determina, quase sempre, as características que o incêndio poderá assumir e deverá estar ser considerada de acordo com os diferentes tipos de uso e ocupação do solo que cada área apresenta (Félix 2014).

Na análise da cartografia dos tempos de deslocação recorreu-se à análise de redes é um conjunto de técnicas utilizadas para elaborar e interpretar redes, tendo em consideração a forma como os bens podem ser transportados ao longo das linhas que constituem o sistema. Para a análise da rede viária do município de Arouca e dos municípios envolventes, onde se localizam CBS que poderão integrar o ataque inicial a uma ignição, utilizou-se a extensão *Network Analyst* do *software* ArcGis. Esta permite criar uma base de dados da rede e analisá-la. O primeiro passo para a elaboração desta cartografia focou-se em criar a base de dados da rede viária (*Network Dataset*), a partir da base corrigida e descrita no ponto anterior, atribuindo-lhe o nome *Redevia-ria\_ND*, adicionando todas as restrições necessárias como as direções das estradas, as barreiras e as restrições nos nós. Salienta-se que para este trabalho, não foram considerados os sinais de paragem obrigatória, uma vez que os veículos de emergência, não são obrigados a suspender a marcha, sendo apenas condicionados a reduzir a velocidade.

O passo seguinte foi definir a conectividade, assumindo-se que esta seria realizada no ponto final de cada via. Foram, igualmente, estabelecidos os campos de elevação para as vias correspondentes a viadutos. Adicionou-se um outro parâmetro correspondente aos minutos, de acordo com a informação disponibilizada pela Direção de Unidade de Defesa das Florestas (2012), (Félix 2014), que nos indica a velocidade média para um veículo florestal de combate a incêndios e a distância que percorrem nos 20 minutos estabelecidos para o ataque inicial (Tabela 2.2).

Tabela 2.2: Velocidades estimadas de circulação (Félix 2014)

Tipo de via	Velocidade média	Distância em ATI ( 20 min)
Itinerário principal	80 km/h	26,67 km
Estrada nacional	45 km/h	15,00 km
Estrada municipal	33 km/h	11,00 km
Outras vias	19 km/h	6,63 km

Assim, foi calculado o tempo em minutos para uma velocidade média de 33km/h. Após a criação do *layer* de análise de redes e de se definir as prioridades, nomeadamente as regras e os atributos da rede, procedeu-se a análise. Para este trabalho escolheu-se a ferramenta *New Service Area* por ser a melhor adaptada, uma vez que calcula uma área baseada num determinado tempo ou distância, pela rede, a partir de uma determinada localização ou localizações de *input*. Estas podem ser realizadas com vários níveis, tendo sido escolhidos os 5, 10, 15 e 20 minutos. Assim, através da extensão *Network Analyst* selecionou-se *New Service Area*, sendo através da opção *load locations* que se inseriram os pontos correspondentes às localizações do Corpo de Bombeiros (CB) do município de Arouca e dos 8 municípios vizinhos (Castelo de Paiva, Cinfães, Castro Daire, São Pedro do Sul, Vale de Cambra, Oliveira de Azeméis, Santa Maria da Feira e Gondomar), dando origem a polígonos que correspondem aos diferentes níveis escolhidos. No fim, na opção *Solve*, foram apresentados os resultados finais.

## 2.3 Criação do quadro concetual para a definição do conceito de defensabilidade

Com base na análise da cartografia realizada e o conhecimento do terreno, foi considerado necessário integrar um conceito novo: a defensabilidade (Fig. 2.4).

Assim, a defensabilidade i.e., a característica de uma unidade espacial (p.ex. uma comunidade, uma floresta) que no caso de ocorrência de um incêndio pode ser protegida por parte das forças operacionais e que depende da interação entre o tempo da primeira intervenção e a intensidade máxima do incêndio (Tedim *et al.* 2018). Só podem ser identificados duas categorias: defensável e não defensável.

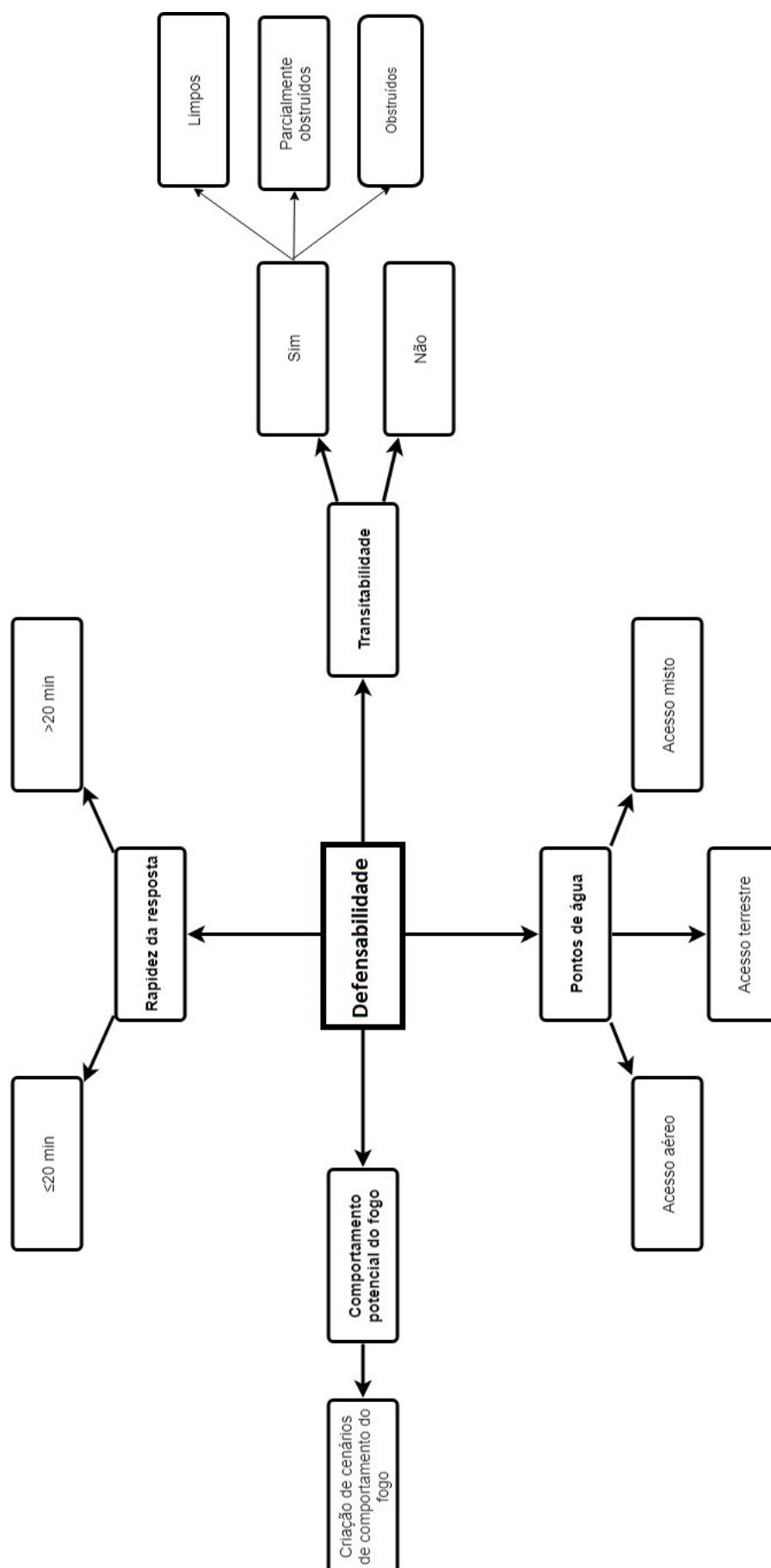


Figura 2.4: Modelo conceitual de defensabilidade.





## Capítulo 3

# Caracterização do município de Arouca

### 3.1 Localização geográfica

A área de estudo centra-se geograficamente no município de Arouca (Fig. 3.1), localizado entre as latitudes 40°55'7,39" N e longitudes entre 8°12'47,39" W e abrange uma área de 329,11 km<sup>2</sup>. Integra a região Norte de Portugal Continental e a Área Metropolitana do Porto. Localiza-se no extremo nordeste do distrito de Aveiro e faz fronteira com os municípios de São Pedro do Sul, Castro Daire, Cinfães, Castelo de Paiva, Gondomar, Santa Maria da Feira, Oliveira de Azeméis e Vale de Cambra.

O município é constituído atualmente por dezasseis freguesias (Anexo A.4) designadas como Alvarenga, Chave, Escariz, Fermêdo, Mansores, Moldes, Rossas, Santa Eulália, São Miguel do Mato, Tropêço, Urrô, Várzea e pelas União de Freguesias (UF) de Cabreiros e Albergaria da Serra, de Canelas e Espiunca, e de Covêlo de Paivó e Janarde. O município tinham em 2011 uma população residente de 22 359 habitantes (INE 2011).

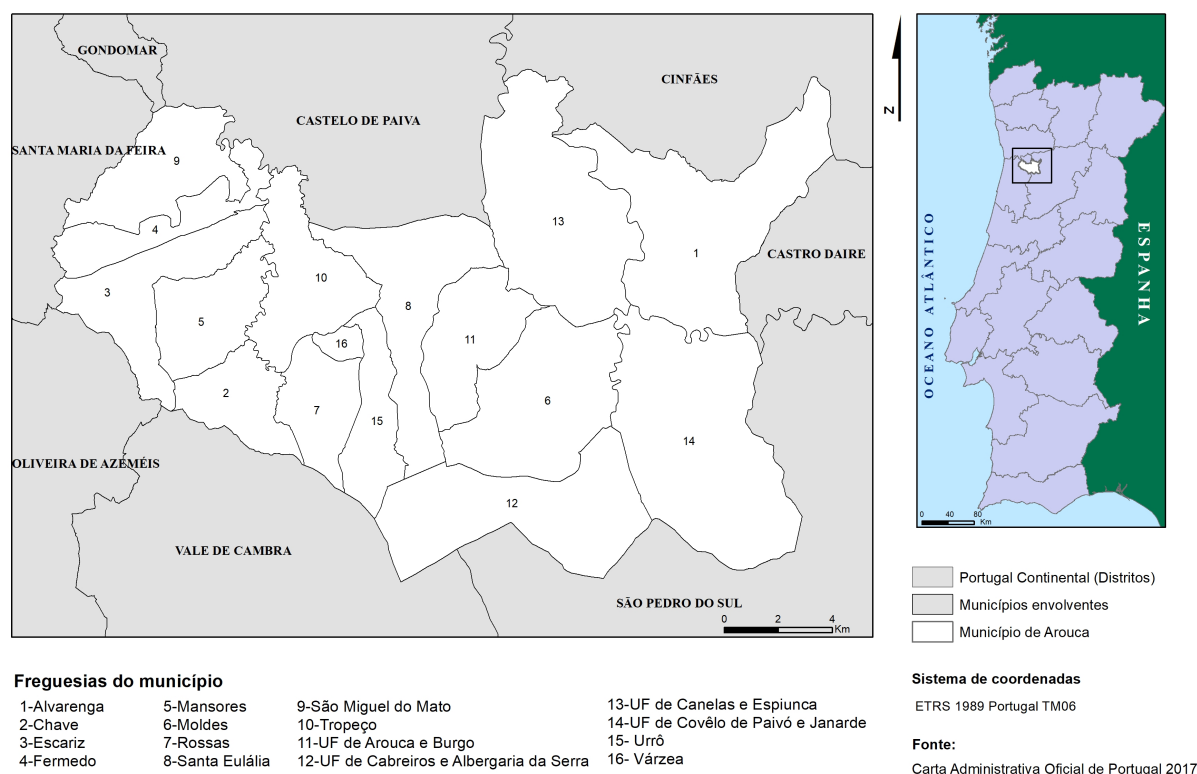


Figura 3.1: Divisão administrativa e enquadramento da área de estudo

## 3.2 Breve caracterização climática

O município de Arouca devido à sua proximidade ao Oceano Atlântico e às características morfológicas do terreno, apresenta um clima temperado de influência marítima. A temperatura média em Arouca apresenta valores anuais de 14,2 °C, sendo que regista temperaturas médias mínimas de 8,6 °C (no mês de janeiro) e temperaturas médias máximas de 24,8 °C (mês de julho) (Comissão municipal de defesa da floresta 2015).

A pluviosidade verifica-se em todas as estações do ano, no entanto é mais frequente e em maior quantidade no Inverno. A precipitação média anual regista valores de 1478,65 mm (SNIRH 2018). O vento é um dos fatores determinantes no comportamento dos incêndios, uma vez que favorece a oxigenação da combustão e seca os combustíveis disponíveis para arder. No município de Arouca, a direção mais comum do vento é o noroeste (315 °).

As condições climáticas aliadas às condições meteorológicas influencia a facilidade de ignição de incêndios rurais, e são decisivas para o comportamento do fogo.

## 3.3 Caracterização morfológica

A orientação do terreno compõe juntamente com o declive, a geometria da exposição da superfície do terreno. A orientação de vertentes é definida como o ângulo azimutal correspondente à maior inclinação do terreno no sentido descendente.

### 3.3.1 Exposição

No município de Arouca pode observar-se que a maior área se encontra exposta a norte e a noroeste. As áreas orientadas a sul e a sudeste são as que representam menos expressividade no município, correspondendo a 11,47% e a 8,98%, respetivamente, à exceção das áreas planas (0,09%) (Anexo A.5).

Verifica-se que os declives mais suaves são favorecidos pela altura do sol, já os declives mais íngremes são favorecidos quando o sol está a uma altura inferior. No hemisfério norte, as vertentes orientadas a sul são continuamente ensoalhadas, ao passo que as vertentes orientadas a norte só recebem radiação direta quando a altura do sol é superior ao declive, apresentando-se mais frias e mais húmidas.

Relativamente à distribuição da exposição do município de Arouca verifica-se que esta se distribui de forma diferente por todas as freguesias (Fig. 3.2). As áreas planas são a classe com menor expressão em todo o município, apresentando maior representatividade na UF de Cabreiros e Albergaria da Serra e de Arouca e Burgo, e nas freguesias de Rossas e Urrô. As freguesias cuja as áreas planas são praticamente inexistentes são Várzea, Tropeço, Chave, Côvelo de Paivó e Janarde. As vertentes orientadas a norte situam-se com maior expressão na freguesias de Urrô, Rossas e Moldes. Tanto as vertentes orientadas a noroeste como as orientadas a este e a sudeste, apresentam-se distribuídas de forma quase igual por todas as freguesias, sobressaindo-se as vertentes orientadas a noroeste na UF de Canelas e Espiunca, e nas freguesias de Rossas e Moldes.

Habitualmente considera-se que a exposição solar a sul representa uma maior importância no que diz respeito aos incêndios rurais, uma vez que aquece os combustíveis, o que facilita a propagação e o desenvolvimento dos incêndios. A freguesia de Várzea é a que apresenta a maior área orientada a sul, registando valores de 35,02 %. As restantes freguesias apresentam valores que variam entre os 6% e os 16%, apenas com a exceção da freguesia de Chaves que apresenta a menor área (3,87%). As vertentes orientadas a sudoeste apresentam uma maior expressão na freguesia de Alvarenga e na UF de Arouca e Burgo, com 26,44% e 18,06%, respetivamente. As freguesias onde esta apresenta menor área são as freguesias de Chaves e a de Mansores (2,15% e 2,89%). A exposição a oeste no município encontra-se maioritariamente nas freguesias de Alvarenga (22,62%) e na UF de Côvelo de Paivó e Janarde (18,39%), sendo em Moldes e em Chaves que apresentam menor relevância (3,33% e 3,37%), respetivamente. Por último, a orientação a noroeste apresenta a maior área na UF de Arouca e Burgo com 24,34%. A menor área exposta a noroeste, encontra-se em Várzea, com 4,38% e na UF de Canelas e Espiunca com 7,65% (Anexo A.5).

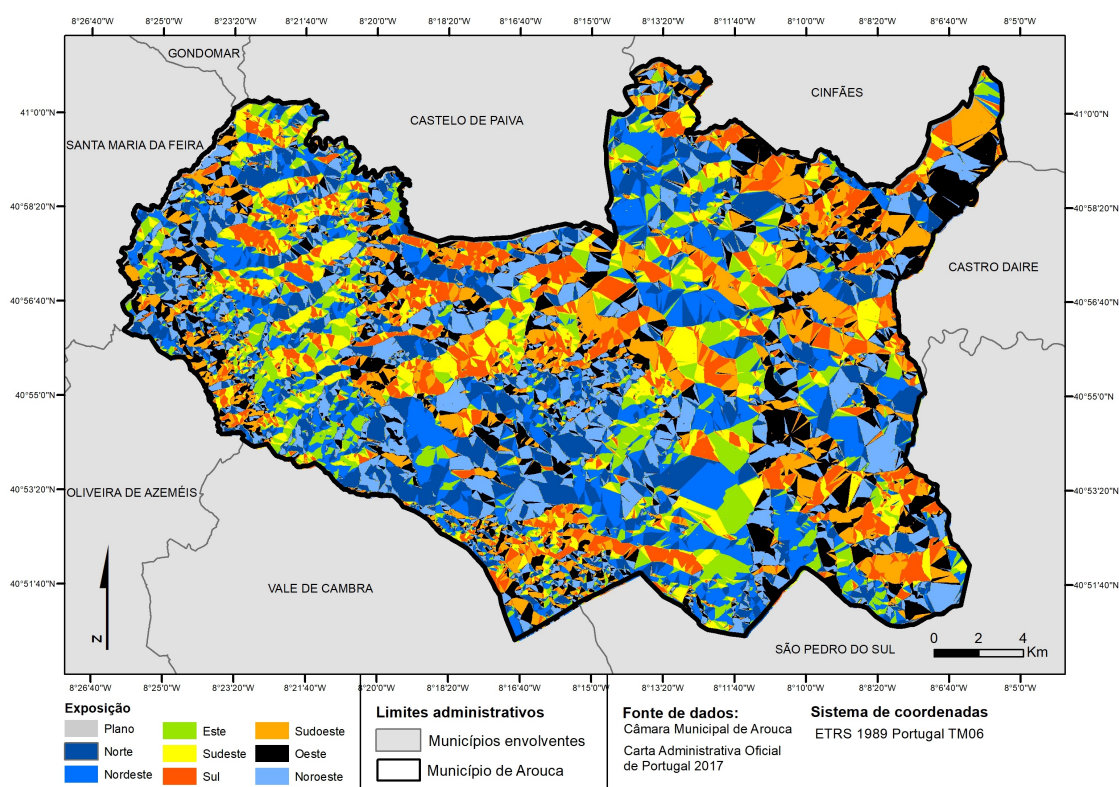


Figura 3.2: Exposição no município de Arouca

### 3.3.2 Declives

Os declives que cada área apresenta influenciam não só a segurança na circulação dos veículos, como também o comportamento do fogo.

Verifica-se que na maior parte das freguesias a distribuição dos declives é uniforme, onde 99,9% dos declives destas, apresentam valores inferiores a 45°. A maior parte dos declives encontra-se entre 1° e os 25° (Fig. 3.3).

Tendo em conta a função de densidade de probabilidade para cada valor de declive ao nível de freguesia, calculou-se a probabilidade de ter esse mesmo valor que lhe corresponde (Anexo A.6). A freguesia de Alvarenga apresenta sobretudo declives entre os 13° e os 20°. As freguesias de Chave e Escariz apresentam grande parte dos valores de declive entre os 5° e os 16°, sendo que é a partir dos 25° que os declives tem menor representatividade. Fermedo e Mansores são freguesias com declives entre os 2° e os 15°, já as freguesias de Moldes, Rossas, Santa Eulália e São Miguel do Mato, apresentam valores mais levados, com 25°. Os valores de declive na freguesia de Tropeço, tem maior representatividade entre os 11° e os 16°, e a partir dos 25° estes são quase inexistentes. A UF de Arouca e Burgo apresenta grande parte dos declives entre os 0° (áreas planas) e os 25° mas é nos 16° e nos 17° que se concentram. Na UF de Cabreiros e Albergaria da Serra e na freguesia de Urrô os valores variam entre os 2° e os 27°. Na UF de Canelas e Espiunca, na de Covêlo de Paivó e Janarde e a freguesia de Várzea verificam-se valores maioritariamente entre os 2° e os 17°, apesar de na última existir uma maior variação, não se identifica nenhum pico em nenhum declive.

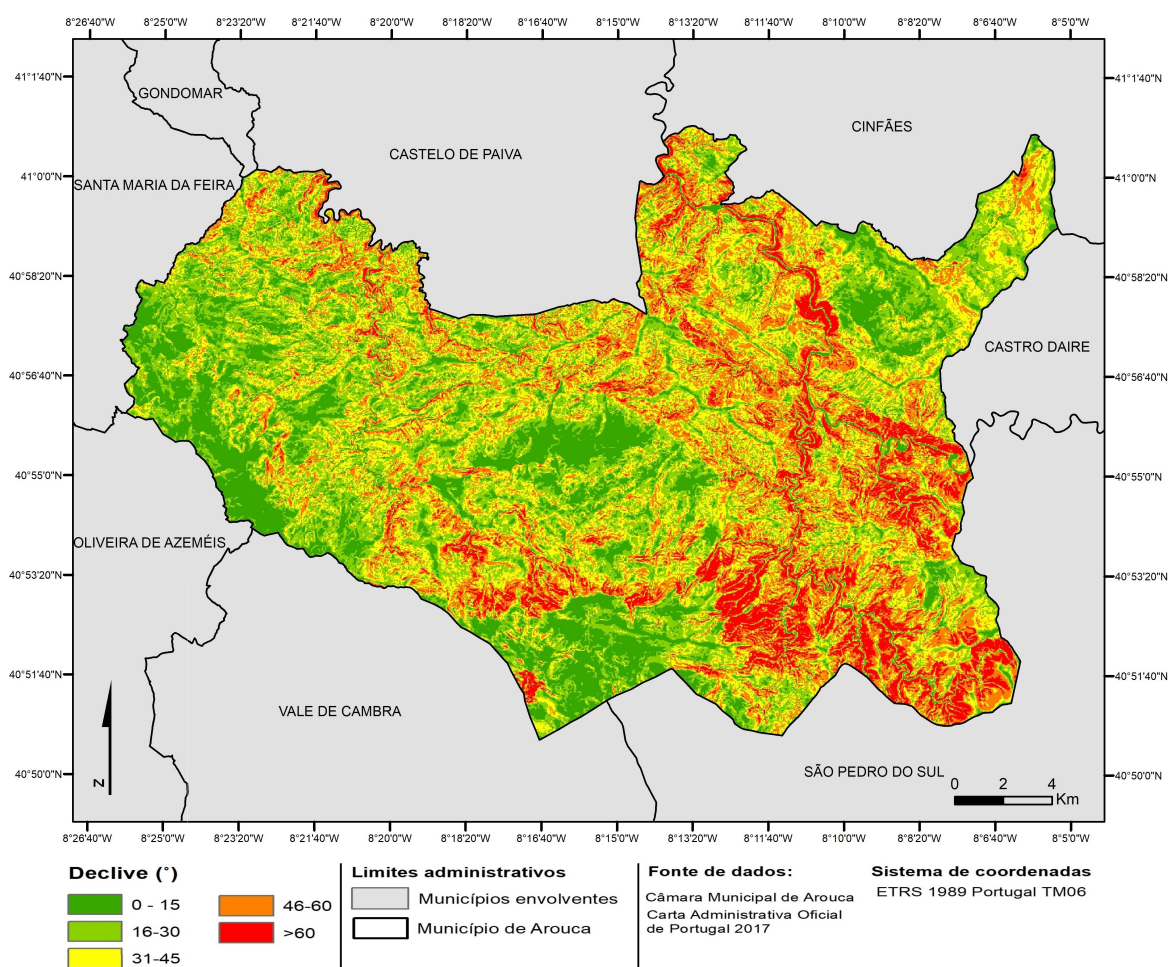


Figura 3.3: Declives da área de estudo.



### 3.3.3 Altimetria

O município de Arouca caracteriza-se por apresentar uma orografia irregular. As altitudes variam entre os 55m junto ao leito do rio Arda (fig. 3.4), nas freguesias de Santa Eulália, Várzea, Rossas e Tropeço, e junto ao rio Paiva, na UF de Canelas e Espiunca, e os 1222m na freguesia de Alvarenga. As quatro primeiras freguesias apresentam valores de altitude máxima na ordem dos 603 m, já a UF de Canelas e Espiunca apresenta uma altimetria mais elevada, registando a altitude máxima de 695 m. O ponto mais alto do município de Arouca situa-se na freguesia de Alvarenga, no marco geodésico da Pedra Posta (1 222 m).

As altitudes que mais dominam no município situam-se entre os 200 e os 600 m (Comissão municipal de defesa da floresta 2015).

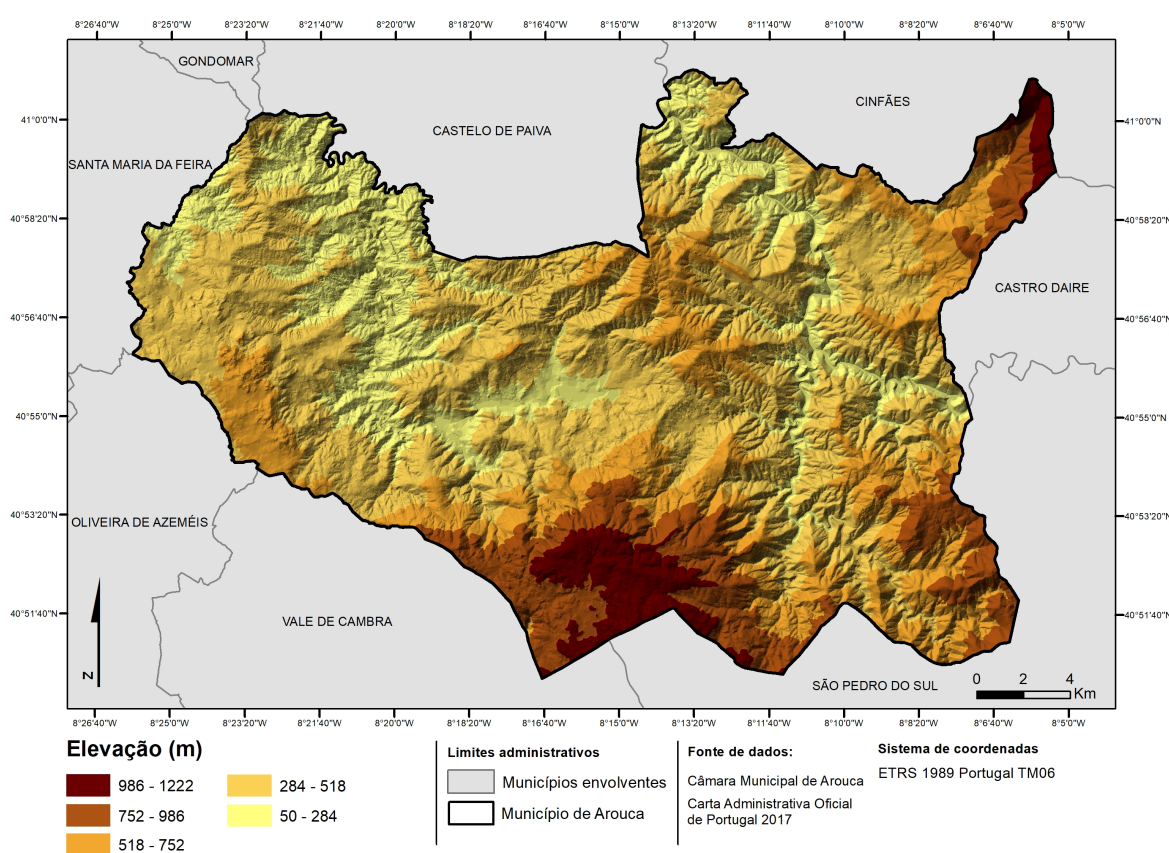


Figura 3.4: Modelo Digital de Terreno da área de estudo.

## 3.4 Ocupação do solo

A ocupação do solo é uma característica dinâmica do território. Para a caracterização do município de Arouca utilizou-se a COS 2015. A COS encontra-se dividida em diferentes níveis (5), e os resultados apresentados neste trabalho estão de acordo com o nível 1, sendo este o mais simplificado (Fig. 3.5).

As áreas florestais no município de Arouca são a ocupação do solo dominante e correspondem a 61% da superfície total do município (Tabela 3.1). É importante salientar que em termos de espécies florestais, o eucalipto é a espécie dominante (128,04 km<sup>2</sup>), seguido do pinheiro

bravo (58,04 km<sup>2</sup>). Os matos são a segunda ocupação do solo mais frequente ocupando 64,18 km<sup>2</sup>, enquanto que a agricultura, fundamentalmente culturas temporárias de sequeiro e regadio, ocupa apenas 39,55 km<sup>2</sup>.

As áreas urbanas representam no município 13,14 km<sup>2</sup>, e situam-se principalmente na UF de Arouca e Burgo. A ocupação do solo com espaços descobertos é feita em 4,26 km<sup>2</sup>. O município de Arouca apresenta uma área destinada às pastagens reduzida, ocupando apenas 1,16 km<sup>2</sup>.

A área ocupada pelos corpos de água e pelos sistemas agro-florestais é muito pequena no município, com 0,50 km<sup>2</sup> e 0,13 km<sup>2</sup>, respetivamente.

Comparando as áreas de floresta e a área ocupada pela agricultura, verifica-se que esta última é minoritária em todas as freguesias (Fig.3.6). Verifica-se que a freguesia de Urrô é a que apresenta maior percentagem de área ocupada por floresta (94%), seguindo-se a UF de Canelas e Espiunca (92%). Com menor área ocupada por floresta está a freguesia de Várzea (63%). A agricultura, como foi referido acima, é igualmente importante na ocupação do solo do município. Ao contrário das áreas ocupadas por floresta, a freguesia com maior área de agricultura é Várzea. A UF de Covêlo de Paivó e Janarde tem a menor área ocupada pela agricultura com menos de 10% (Anexo A.7).

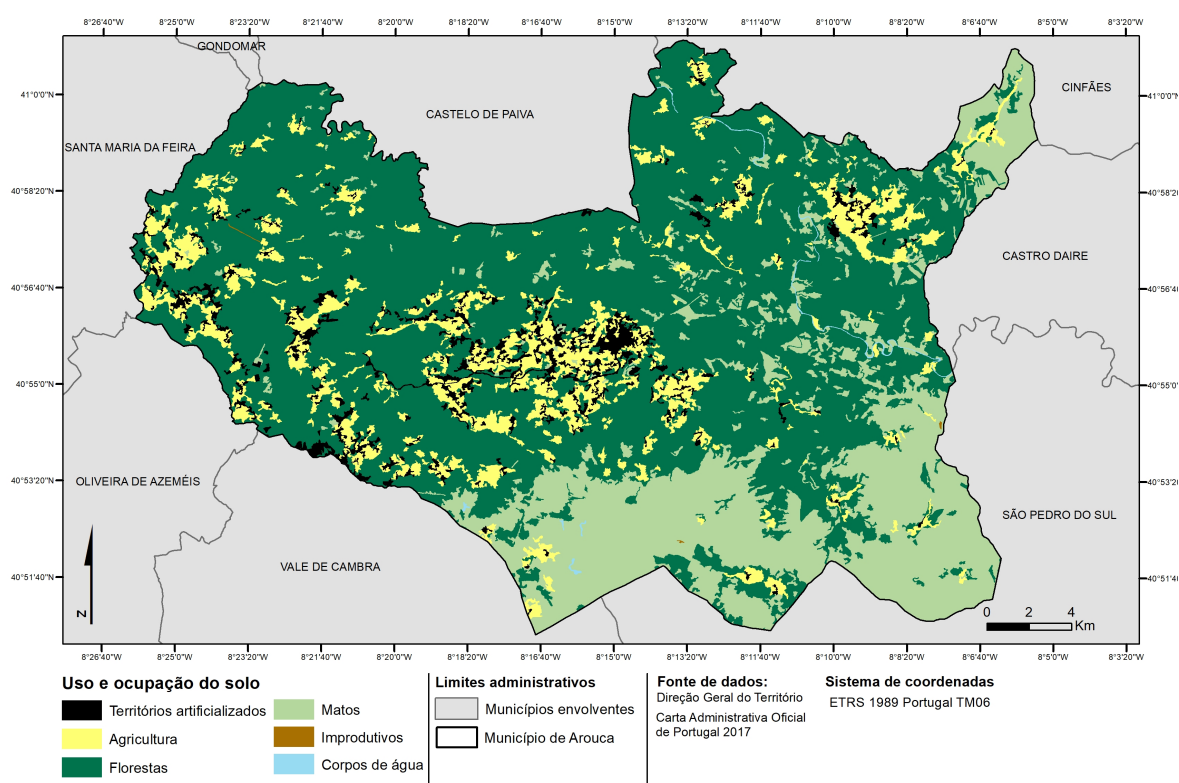


Figura 3.5: Ocupação do solo da área de estudo.

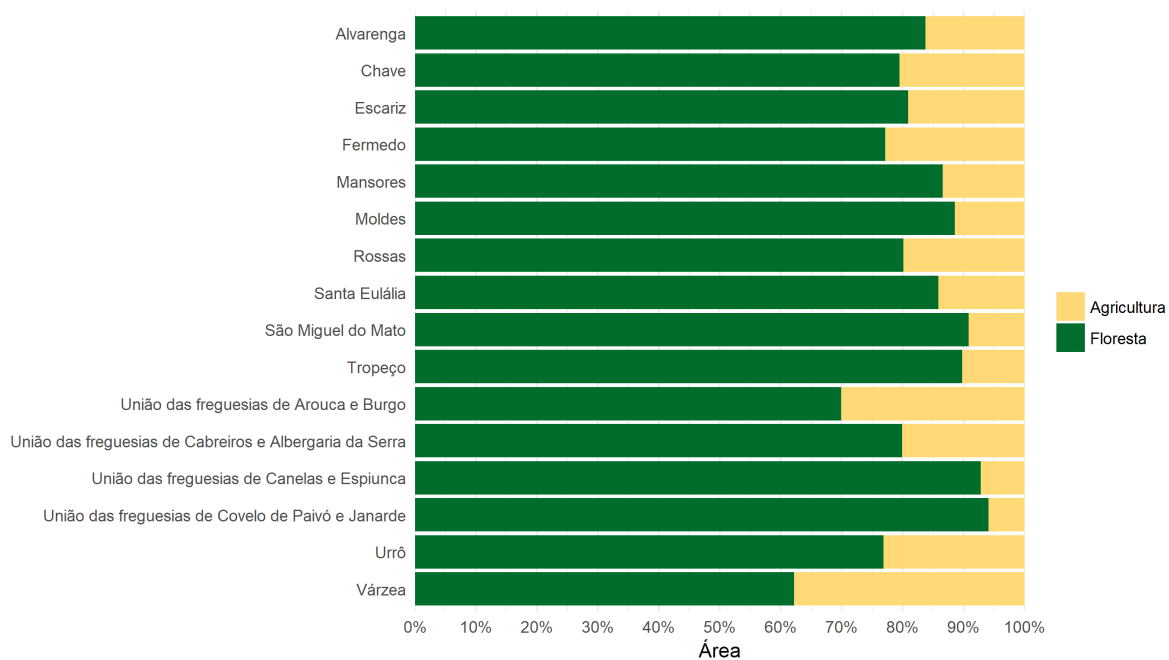


Figura 3.6: Área ocupada pela floresta e pela agricultura na área de estudo.

Tabela 3.1: Ocupação do solo na área de estudo

Ocupação do solo	Área km <sup>2</sup>
Agricultura	39,55
Áreas urbanas	13,14
Corpos de água	0,5
Espaços descobertos	4,26
Floresta	206,19
Matos	64,18
Pastagens	1,16
Sistemas agro-florestais	0,13
Total	329,11



## 3.5 Caracterização Humana

### 3.5.1 Densidade populacional

A densidade populacional por subsecção permite evidenciar contrastes na distribuição da população no município de Arouca.

De acordo com o Recenseamento da População de 2011, os valores de densidade populacional apresentam-se de uma forma geral inferiores a 50 hab/km<sup>2</sup>, sendo possível encontrar áreas com total ausência de população (Fig. 3.7). Nas áreas de maior altitude, a população tem tendência a concentrar-se geralmente em núcleos de pequena dimensão. Os valores máximos de densidade populacional ocorrem sobretudo na parte central do município. Aqui, registaram-se densidades populacionais de cerca de 9 000 hab/km<sup>2</sup>, o que se explica pela reduzida dimensão das subsecções (Anexo A.8). Ao nível da freguesia a maior densidade populacional ocorrem na UF de Arouca e Burgos, apresentando uma densidade populacional superior a 100 habitantes/km<sup>2</sup>. As freguesias com menor densidade são a UF de Cabreiros e Albergaria da Serra e a UF de Covêlo de Paivó e Janarde, sendo nestas que a população reside em pequenos núcleos concentrados, existindo extensas áreas sem habitantes.

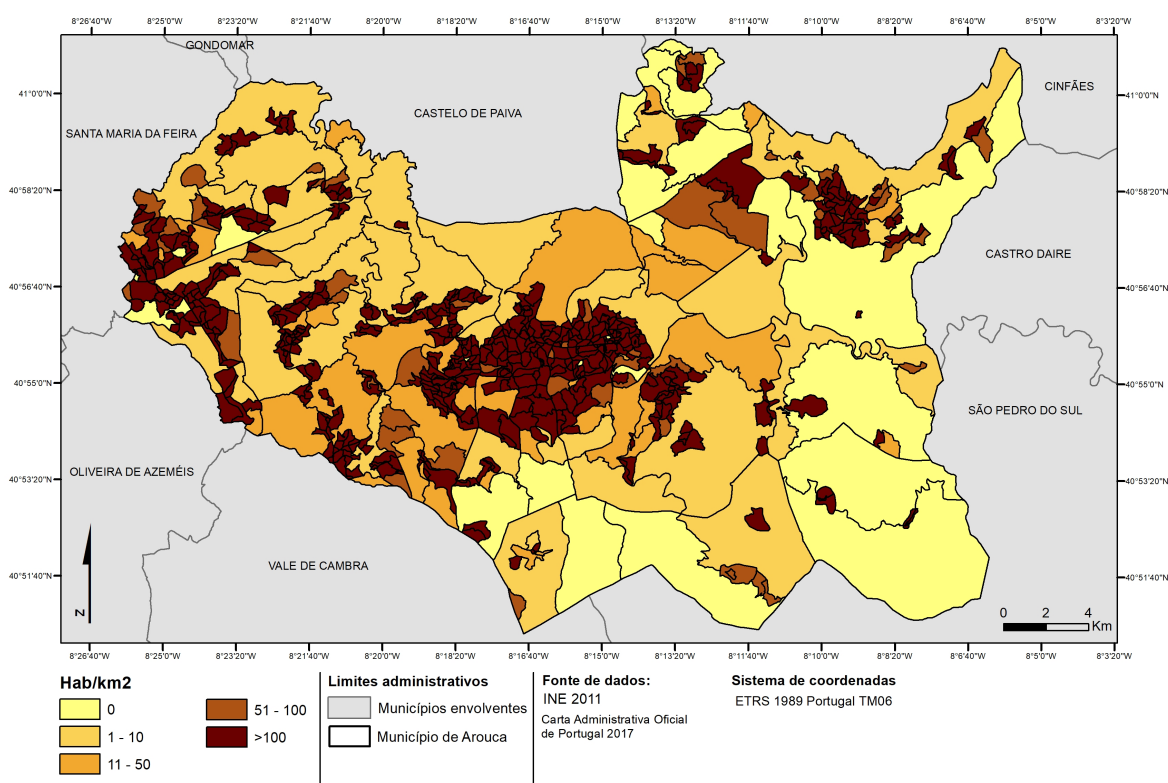


Figura 3.7: Densidade populacional no município de Arouca, por subsecção, em 2011.

### 3.5.2 Interface urbano-florestal

Vários autores vem definindo a interface urbano florestal (Tabela 3.2). Neste trabalho considera-se interface urbano-florestal como áreas onde estruturas (principalmente edifícios), se encontram ou misturam com espaços florestais.

Tabela 3.2: Exemplos de definição de interface urbano-florestal.

Definição	Autor(es)
Áreas onde as estruturas construídas se encontram junto ou próximo de florestas, matos e pastagens	(Alavalapati et al.2005)
Áreas de transição que se situam entre as zonas selvagens e os espaços urbanizados, onde a floresta conhece áreas urbanizadas.	(Galiana-Martín 2011)
Áreas onde estruturas e outros desenvolvimentos de ordem humana se encontram ou misturam com áreas florestais não desenvolvidas.	(Lein e Stump 2009)
As áreas de interface existem onde humanos e todo o desenvolvimento em torno deles está ou mistura-se com a floresta.	(Bracmort 2014)

A operacionalização do conceito é a situação mais difícil, uma vez que tem conduzindo a metodologias diferenciadas.

Quando se observam as diferentes paisagens existentes, podem encontrar-se três categorias diferentes de interface (Teie e Weatherford 2000). A primeira categoria caracteriza a situação em que as estruturas confinam com os combustíveis florestais. Existe uma clara linha de separação entre as estruturas e as florestas, onde as últimas não continuam nas áreas desenvolvidas.

Na segunda categoria as estruturas encontram-se espalhadas pela floresta e não existe uma linha clara de demarcação entre os dois espaços. Os combustíveis florestais existem tanto dentro como fora das áreas desenvolvidas. As estruturas e os combustíveis florestais estão separados, sem qualquer ambiguidade.

A última categoria, a também denominada de paisagem rural, é caracterizada por pequenos *clusters* de estruturas dispersos uns dos outros e expostos aos combustíveis florestais, sendo que a distância entre esses *clusters* é ainda um fator a ter em consideração.

Uma das grandes dificuldades que surge com a presença de áreas de interface é a gestão dos riscos, uma vez que esta inclui a consciência dos residentes e também a consideração dessa condição de risco ao planear. Apesar de existirem diversas preocupações, nenhuma cresceu tanto como a problemática dos incêndios florestais nas áreas de interface (Cohen 2000).

A expansão de áreas de interface pode resultar num aumento do número de episódios de incêndio rural e no aumento da probabilidade de elevados danos (Caballero 2008). O aumento da vulnerabilidade é determinado por uma dinâmica de progressão da vegetação e por uma tendência de dispersão dos processos de urbanização (Galiana-Martín 2011). As áreas de interface apresentam os problemas da gestão das grandes cidades juntamente com o que é encontrado na gestão das áreas florestais. É cada vez mais raro que ocorra um incêndio rural e que este não envolva área de interface. Os combustíveis em áreas residenciais incluem tanto os florestais como as propriedades (Rehm *et al.* 2001). Os incêndios podem ter origem natural, mas na sua maioria têm origem antrópica.

Dado o crescimento de população nas áreas de interface, a prevenção e mitigação de incêndios tornou-se cada vez mais importante, uma vez que existe mais população e estruturas expostas. Os residentes destas áreas mais propensas a que ocorra um incêndio, no sentido de maximizar a sua probabilidade de sobreviverem e de protegerem as suas propriedades precisam de se preparar, independentemente se a sua intenção na ocorrência de um incêndio florestal é a de permanecer no local e fazer uma proteção ativa ou passiva ou evacuar (Blanchi *et al.* 2018).

Um dos principais problemas no combate a incêndios florestais em Portugal é exatamente

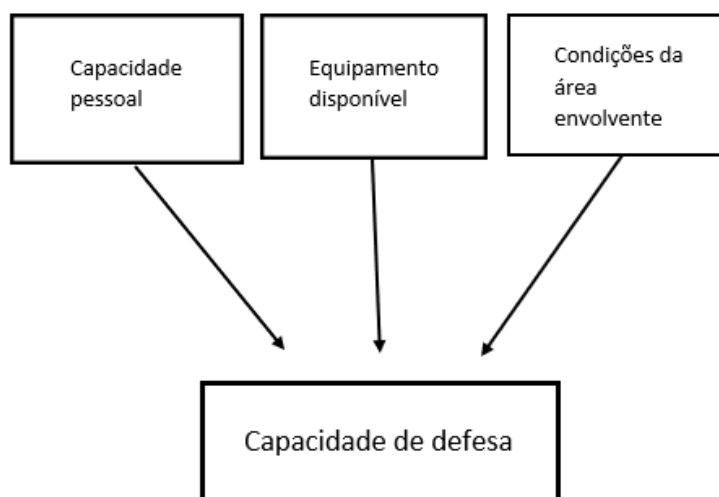


Figura 3.8: Representação do sub-modelo de preparação.  
(Penman *et al.* 2013)

este: a evacuação. Na maioria das vezes, a maior parte da população não tenciona sair, principalmente de junto da sua casa, dificultando todo este processo. Existe assim um modelo concetual para determinar se é ou não seguro os habitantes ficarem para proteger as duas propriedades. Ficar ou não na propriedade para a defender, depende diretamente da sua exposição e da fragilidade da última ( construção, design, material e localização) e da preparação dos residentes. A relação entre o tipo de construção e a exposição da propriedade aos incêndios rurais vai determinar se é seguro ou não eles ficarem. Ao mesmo tempo, a relação entre a preparação de cada um e a vulnerabilidade da propriedade vai determinar se este é ou não capaz de a defender (Penman *et al.* 2013).

Segundo Penman (2013), existem 3 componentes para classificar a preparação (Fig. 3.8):

- 1) na capacidade de cada residente de defender a si próprio, à sua família e à sua casa. Relaciona-se com a capacidade de cada um, seja física, mental e prática;
- 2) o equipamento que cada um possui. Define a natureza e o estado do equipamento que cada um tem para defender a sua casa (como mangueiras, bombas de água, entre outros);
- 3) a condição da propriedade e da área que a envolve. Relaciona-se com a quantidade e condição que os combustíveis apresentam. Todavia também é fundamental considerar as características e o estado dos edifícios.

Os residentes de áreas de interface urbano-rural devido à elevada incidência de incêndios rurais, começam a aceitar a ideia de que estes existem, que muitas das vezes são extremos, e que podem ocorrer junto às casas. Assim, começam a pensar em tornar as suas casas mais "resistentes" ao fogo, e manter as áreas envolventes limpas de matos e combustíveis rasteiros durante os meses mais propícios a incêndios rurais, existindo muitas mais opções de se protegerem (Mutch *et al.* 2011). Salienta-se a importância dos habitantes aceitarem o risco e tomar medidas de prevenção e mitigação. A probabilidade de uma estrutura arder está diretamente dependente dos seus atributos físicos (material de construção) e da sua exposição ao incêndio (Mell *et al.* 2010).

Para Cohen (2008), a probabilidade de ignição das habitações durante um incêndio é determinada pelas características dos seus materiais exteriores e dos materiais envolventes, na

chamada Zona de Ignição (Cohen 2008). Existem diversas opiniões sobre a probabilidade de um edifício arder. Algumas defendem que a probabilidade é mais alta em *clusters* pequenos e isolados, com baixa densidade de construção e poucas estradas (Alexandre *et al.* 2016), e outras defendem que *clusters* mais próximos têm uma maior probabilidade de arderem porque estão mais juntos, e, dado que os edifícios também funcionam como combustível, as chamas passam de construção em construção (Suzuki *et al.* 2014). *"Nos termos mais simples, o incêndio de interface são qualquer ponto onde o combustível que alimenta um incêndio florestal muda de natural (floresta) para combustível produzido pelo homem (urbano)"* (Butler 1974, p. 3).

Os aglomerados urbanos enfrentam muitas vezes esta problemática dos incêndios em espaço rural. A solução para a mitigação de catástrofes nas áreas de interface urbano-florestal, torna-se prioritária, uma vez que evidencia as fragilidades da sociedade portuguesa relativamente à prevenção, mitigação e preparação. Quando se reflete sobre as consequências que um incêndio pode ter, assume-se de forma imediata dois aspetos: a perda de vidas humanas e a destruição de infraestruturas e habitações.

Ao analisar-se o município de Arouca, verifica-se que grande parte dos aglomerados populacionais se encontra em áreas de interface urbano-florestal, representando 59,41% do território (Fig. 3.9). As habitações isoladas representam 5,73% do total e localizam-se na sua maioria na UF de Covêlo de Paivó e Janarde, na freguesia de Alvarenga, na UF de Canelas e Espiunca e na freguesia de São Miguel do Mato. As habitações dispersas representam 6,15% das habitações em áreas de interface urbano-florestal e estão localizadas principalmente na freguesia de Alvarenga, na UF de Canelas e Espiunca e na freguesia de Santa Eulália. As habitações agrupadas representam 12,88% e encontram-se distribuídas por todo o município. Salientam-se a freguesia de Santa Eulália, assim como a UF de Arouca e Burgo com maior percentagem de povoamentos agrupados (16,65%). Por fim, verifica-se que os povoamentos densamente agrupados representam a maior área do município, com 18%. Estes localizam-se principalmente nas freguesias mais urbanizadas do município, como Santa Eulália, Várzea, Chave, Escariz e Fervedo, mas sobretudo na UF de Arouca e Burgo. As habitações densamente agrupadas estão diretamente relacionadas com a maior concentração da população.

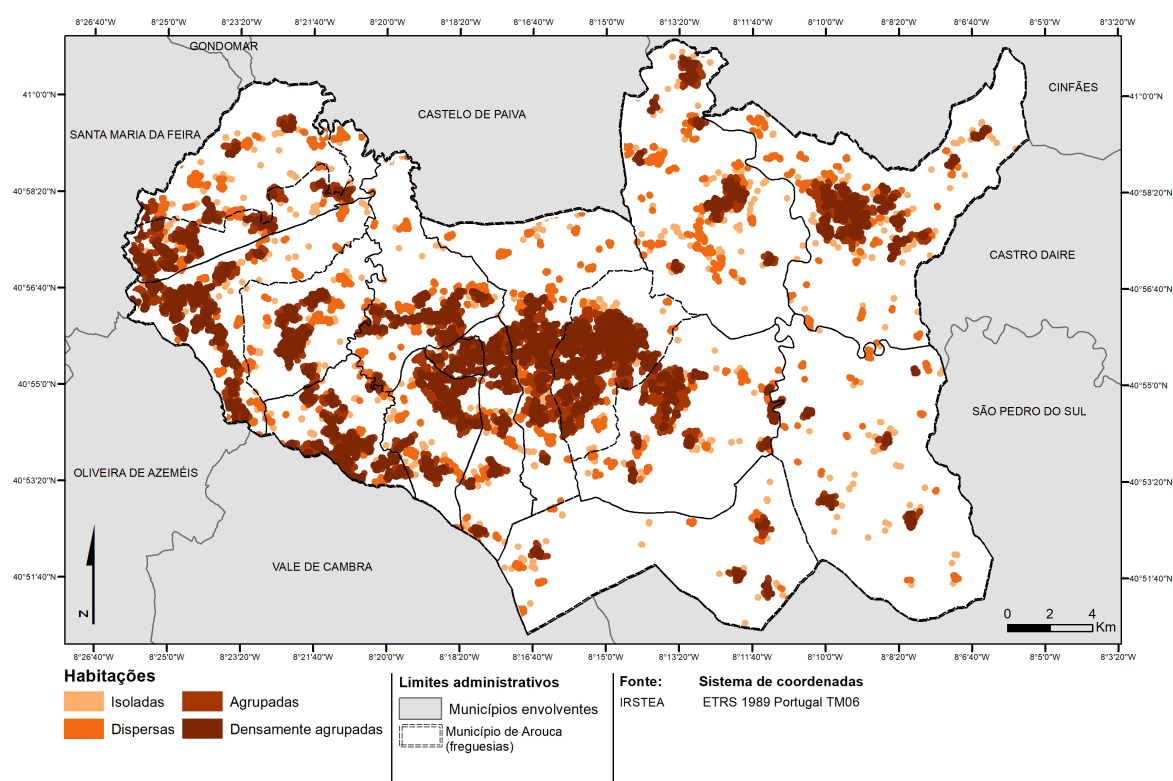


Figura 3.9: Área de interface urbano-florestal na área de estudo.

### 3.6 A incidência dos incêndios rurais

O elevado número de incêndios rurais e a dimensão das áreas ardidas relaciona-se com as transformações ocorridas nas áreas florestais e as mudanças na dinâmica social e económica do município de Arouca.

De acordo com a base de dados estatística dos incêndios do ICNF, entre 2005 e 2017 ocorreram no município de Arouca 1999 ignições<sup>1</sup>. Relembra-se que, segundo o ICNF, só se considera incêndio, as ocorrências que apresentarem uma área ardida superior a 1ha. As ocorrências com área ardida <1ha são designadas por fogachos e são mais numerosas (82%) (Tabela 3.3).

A distribuição das ocorrências apresenta uma grande variabilidade inter-anual. Os incêndios distribuem-se de forma diferente ao longo do ano, com maior incidência nos meses de verão. Verifica-se que o ano em que ocorrem mais incêndios na área de estudo foi em 2010 (388). Em contrapartida, em 2014 ocorreram 71 incêndios sendo este o ano com menor número de ocorrências. Entre 2005 e 2017, os meses em que se ocorreram mais incêndios foram agosto (562) e setembro (293), já os meses com menos incêndios foram janeiro e dezembro, com 31 e 49 incêndios, respetivamente.

Considerando a totalidade da área ardida no período analisado, verifica-se que 69% do município de Arouca já ardeu pelo menos uma vez (Fig.3.10).

No município de Arouca, tendo em conta o tempo limite para o ataque inicial (20 min após o alerta), verifica-se que os incêndios de maior dimensão ocorreram nas áreas onde os meios e as forças de combate demoram mais tempo a chegar (Tabela 3.4). Verifica-se que à medida

<sup>1</sup>Embora a base estatística do ICNF disponibilize dados desde 1980, optou-se por inicializar a análise em 2005 porque foi o ano em que ocorreu o primeiro grande incêndio a exceder os 5 000 ha.

que aumenta o tempo de resposta, aumenta o número de ignições e a área ardida. De facto, as ocorrências em que as forças de combate chegam ao ponto de ignição em 5 min, as ignições foram rapidamente controladas e não ultrapassaram os 24,9 ha. A maioria das ocorrências limitou-se a áreas ardidas inferiores a 1 ha, assumindo-se que os valores que se encontram acima, são todos aqueles que não foram detetados rapidamente. Quando se analisam os tempos de resposta entre os 10 e os 15 min, verifica-se que apesar das ignições em áreas com tempo máximo de intervenção de 10 min serem superiores às limitadas por 15 min, verifica-se que a área ardida é superior nas segundas. O limite dos 20 min é o que apresenta maior número de ignições e área ardida, apresentando 2 incêndios com mais de 5 000 ha.

Considerando ainda o número de ocorrências e as áreas ardidas ocorridas dentro dos limites dos 20 min estabelecidos para o ataque inicial e nas ocorridas para além destes, evidencia-se que a maioria ocorre para além deste limite, verificando-se em 9 dos 13 anos analisados no município de Arouca. Verifica-se ainda que nestes 13 anos, de um total de 1999 ocorrências, 1839 apresentam uma área ardida inferior a 1 ha, 209 registam valores entre 1ha e 4,99 ha, 38 entre 5 ha e 9,99 ha, 56 entre 10 ha e 24,9 ha, 17 entre 25 ha e 49,9 ha, 9 entre 50 ha e 99,9 ha, 13 entre os 100 ha e os 249,9 ha, 7 entre 250 ha e 499,9 ha, 2 entre 500 ha e 999,9 ha, 4 entre os 1 000 ha e os 4 999 ha e por fim, 3 ocorrências com uma área ardida superior a 5 000 ha.

Salientam-se os anos de 2005, 2009 e 2016, com incêndios cuja a área ardida ultrapassou os 5000 ha, correspondendo, os dos anos de 2005 e 2016 aos maiores incêndios que afetaram o município (Tabela 3.5). A classe com menor expressão de área ardida corresponde a eventos com dimensões entre os 500-999,9 ha.

Analisando-se individualmente cada ano verifica-se que no período analisado, o número de incêndios cujos meios de combate demoram  $>20$  min a chegar, são superiores aos tempos de percurso  $\leq 20$  min (75 e 1224 respetivamente), com exceção dos anos de 2013, 2014 e 2015.

Verifica-se que o número de ignições diminuiu em função da área ardida, ou seja, as ignições inferiores a 1 ha representam o maior número de ocorrências no município.

Os incêndios cuja a área ardida é maior que 5 000 ha, apenas estão representados nos anos dos grandes incêndios em Arouca, que correspondem a 2005 e 2016. Refere-se ainda que os grandes incêndios, eclodiram em áreas que distam  $>20$  min do CB mais próximo.

Assim, é realçado o facto de que a resposta do ataque inicial é essencial para o comportamento do fogo e decisivo para que as ignições não originem eventos extremos.

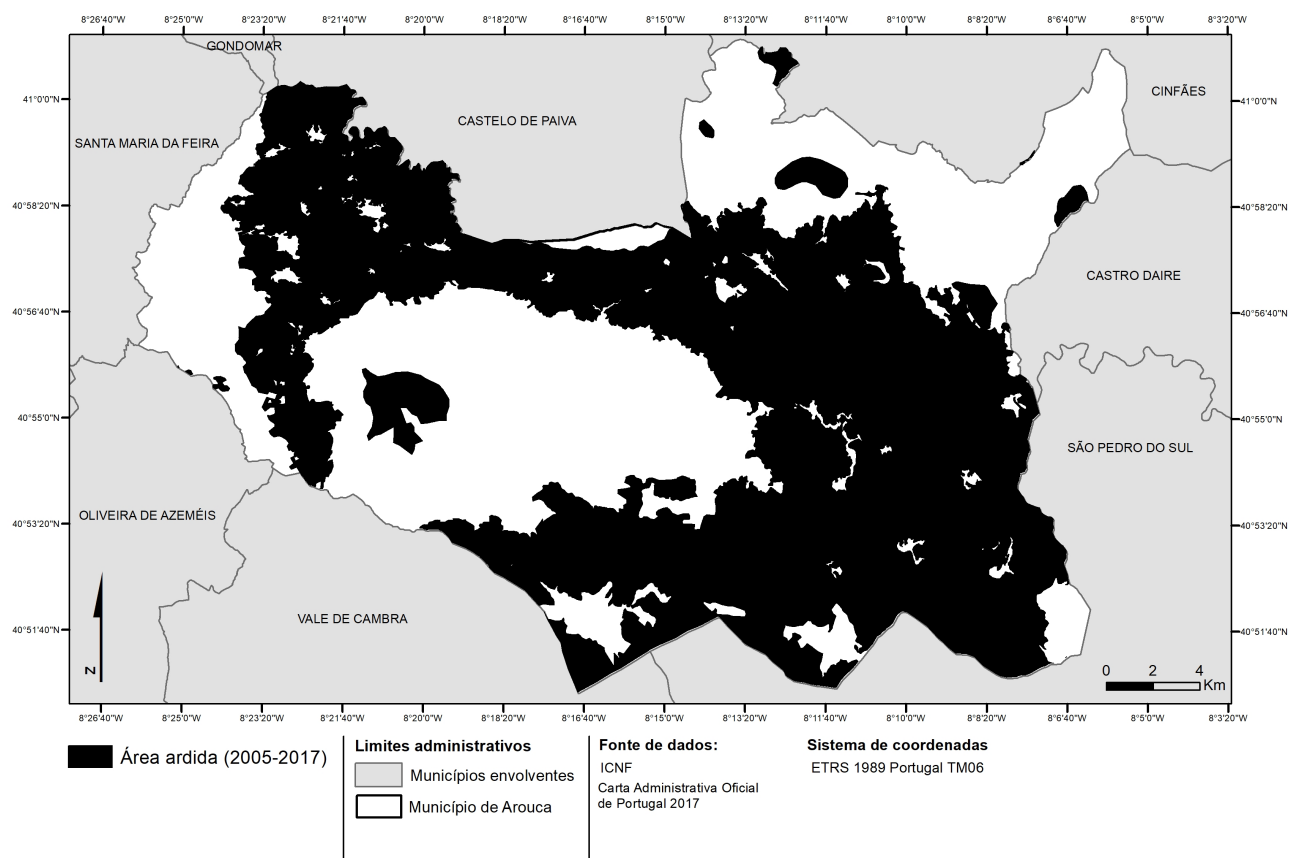


Figura 3.10: Área ardida no município de Arouca, independentemente do número de vezes.

Tabela 3.3: Distribuição anual do número de incêndios rurais segundo dimensão em função do tempo potencial de resposta.

Ano	Ha	≤1	1-4,99	5-9,99	10-24,9	25-49,9	50-99,9	100-249,9	250-499,9	500-999,9	1000-4999,9	>5000	Total
2005	≤20min	0	0	3	1	2	0	0	0	0	0	0	6
	>20min	0	37	5	4	0	0	1	0	0	0	1	48
2006	≤20min	35	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	39
	>20min	38	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	42
2007	≤20min	7	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16
	>20min	55	13	2	0	0	1	0	0	0	0	0	71
2008	≤20min	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	>20min	81	4	1	1	0	0	0	0	0	0	0	87
2009	≤20min	41	10	2	4	0	1	0	0	0	1	1	60
	>20min	134	2	2	11	3	0	7	0	1	0	0	160
2010	≤20min	130	8	0	4	0	0	0	0	0	0	0	142
	>20min	215	16	8	6	6	2	2	0	0	2	0	257
2011	≤20min	85	7	1	2	1	1	0	0	0	0	0	97
	>20min	133	16	2	3	1	1	0	0	0	0	0	156
2012	≤20min	99	7	1	9	0	0	0	0	0	0	0	116
	>20min	72	10	2	1	0	0	0	0	0	0	0	85
2013	≤20min	110	9	2	1	0	1	0	1	0	0	0	124
	>20min	79	10	0	2	1	0	1	0	1	0	0	94
2014	≤20min	26	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	27
	>20min	21	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	26
2015	≤20min	85	8	1	2	1	0	0	0	2	0	0	99
	>20min	59	8	0	0	2	1	1	3	0	0	0	74
2016	≤20min	5	2	1	1	0	0	0	0	0	0	1	10
	>20min	26	8	1	1	0	1	0	0	0	1	0	38
2017	≤20min	34	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37
	>20min	68	13	1	1	0	0	0	1	0	0	0	86
Total	≤20min	658	66	14	24	4	3	1	3	0	1	1	775
Total	>20min	981	143	24	32	13	6	12	4	2	3	2	1224
Total		1639	209	38	56	17	9	13	7	2	5	4	1999



Tabela 3.4: Distribuição anual do número de ocorrência por ha e por tempo de percurso.

Área (ha)	5 minutos	10 minutos	15 minutos	20 minutos	Total
<1	71	217	209	292	789
1-4,99	5	29	37	13	84
5-9,99	0	6	5	15	26
10-24,9	3	9	7	5	24
25-49,9	0	1	1	2	4
50-99,9	0	1	0	3	4
100-249,9	0	0	0	1	1
250-499,9	0	0	2	1	3
500-999,9	0	0	0	0	0
1000-4999,9	0	0	0	0	0
>5000	0	0	0	2	2
Total	79	263	261	334	937

Tabela 3.5: Distribuição anual e mensal do número de ocorrências (2005-2017) (Fonte:ICNF).

Mês	Ano														Total
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017		
Janeiro	4	0	1	0	0	2	4	7	0	0	5	0	8	31	
Fevereiro	21	1	1	8	2	4	7	24	0	0	1	2	1	72	
Março	21	2	9	4	1	10	14	47	2	7	12	1	6	136	
Abril	9	8	4	11	9	16	21	6	12	1	16	8	19	140	
Maiο	6	5	3	4	5	6	5	7	9	7	15	5	18	95	
Junho	19	10	11	6	1	16	11	24	5	5	14	1	10	133	
Julho	68	9	13	14	10	40	26	18	30	6	24	10	4	272	
Agosto	88	26	22	16	14	214	38	19	49	10	38	14	14	562	
Setembro	9	17	17	9	13	46	19	33	83	6	17	11	13	293	
Outubro	13	1	6	8	11	30	35	0	1	10	7	4	21	147	
Novembro	0	0	41	5	4	0	3	0	8	0	4	1	3	69	
Dezembro	3	1	12	4	1	4	4	0	11	0	4	1	4	49	
Total	261	80	140	89	71	388	187	185	210	52	157	58	121	1999	

A localização dos pontos de ignição de incêndio rural era sempre efetuada durante o levantamento das áreas ardidas, no entanto concluiu-se que este não seria o método mais fiável. Atualmente, através da integração de uma rede nacional de emergência e segurança adotada pelo Estado Português, nomeadamente a rede implementada pela empresa Gestão de Redes Digitais de Segurança e Emergência (SIRESP), assim que o primeiro veículo de combate a incêndios chega ao teatro de operações, regista as coordenadas mais próximas do local da ignição. Esta informação é fornecida ao Comando Distrital de Operações de Socorro (CDOS) a que pertence a freguesia junto com as informações operacionais relativas ao incêndio.

Quando não é possível localizar o ponto de ignição, este é atribuído à sede da freguesia onde o incêndio teve início. Salienta-se que existem pontos de ignição erradamente localizados, uma vez que estão marcados em linhas de água, em áreas que nunca arderam ou ainda afastados do real ponto de ignição. Em termos de ocupação do solo, também se verifica que a distribuição dos pontos de ignição não é uniforme, distribuindo-se pelas diversas classes (Fig.3.11), embora seja nas áreas florestais que surgiram o maior número de ocorrências, registando um total de 880 ignições (Tabela 3.6). De facto, é nestas áreas e com o objetivo de queimar os sobrantes florestais depois do corte, que muitos incêndios têm a sua deflagração facilitada e assumem proporções de difícil controlo, devido à acumulação de biomassa. A ocupação do solo com o segundo maior número de ignições está relacionada com as áreas agrícolas. Salienta-se que nestas áreas as ignições estão muitas das vezes relacionadas com as queima dos sobrantes agrícolas. Na classe dos tecidos urbanos estão registadas 322 ignições, estando associadas na maioria das vezes a áreas de interface urbano-florestal. Os matos são a classe cuja o número de ignições é menor, contabilizando-se 184. Na classe outros, considera-se como os pontos de ignição localizados erradamente, uma vez que correspondem a linhas de água.

Como ficou demonstrado, o município de Arouca apresenta condições favoráveis ao desenvolvimento de incêndios que podem assumir grande dimensão e intensidade, sendo evidente que a situação se tem vindo a agravar. Por conseguinte, a identificação de condições de defensabilidade são fundamentais para redução dos impactos dos incêndios rurais.

Tabela 3.6: Distribuição do número de ignições pelo uso e ocupação do solo no município de Arouca.

Uso e ocupação do solo	Nº de ignições
Agricultura	608
Tecidos urbanos	322
Floresta	880
Matos	184
Outros	5
Total	1 999

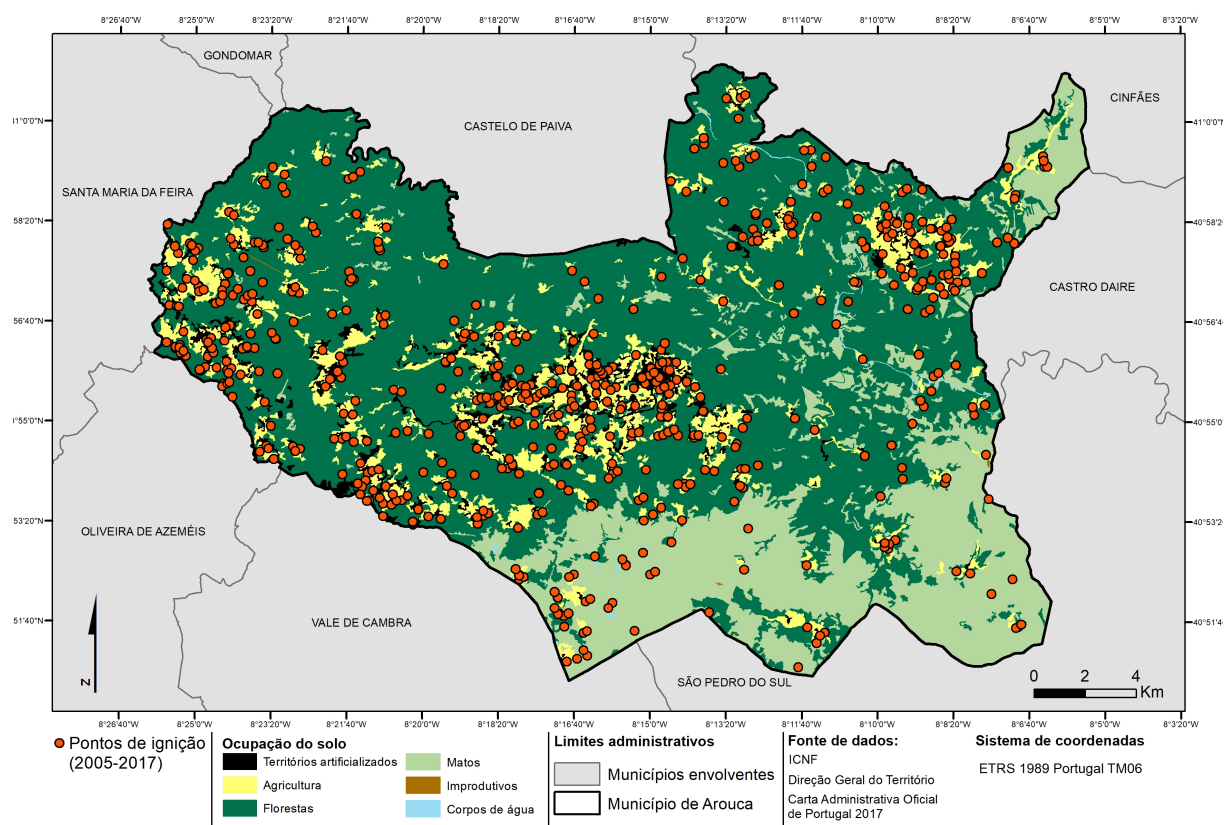


Figura 3.11: Distribuição dos pontos de ignição segunda ocupação do solo em 2015.

## Capítulo 4

# Avaliação das condições de circulação dos meios de combate aos incêndios

### 4.1 A importância da rede viária nos incêndios

A rede viária é um elemento crucial nos incêndios rurais. A sua importância pode ser analisada em quatro perspetivas: i) facilitam a ocorrência de ignições, uma vez que facilitam o acesso (Hann *et al.* 1997, Narayanaraj e Wimberly 2011, Syphard *et al.* 2007, Syphard *et al.* 2008); ii) funcionam como barreira física à propagação de um incêndio de baixa intensidade (limitando o seu desenvolvimento para um incêndio de grandes dimensões, mas não têm qualquer capacidade de interromper a propagação de um incêndio extremo) (Buck 1936 Reed *et al.* 1996, Forman e Alexander 1998 Watts *et al.* 2007); iii) são utilizadas para o posicionamento de meios de combate e para atividades de supressão; iv) e são cruciais para a circulação, uma vez que para os meios de combate chegarem a qualquer ponto de ignição de incêndio, terão de atravessar todo um percurso.

### 4.2 A extensão da rede viária

No município de Arouca, a rede viária é constituída por estradas nacionais, regionais, municipais e caminhos florestais (Fig.4.1). A rede de estradas nacionais e regionais estende-se por 108,56 km (Anexo A.9):

- Rede complementar (estradas nacionais): EN 236 entre o entroncamento com a EN 327 e Arouca (ER 326-1) , e EN 327 entre o km 0 e o limite com o concelho de Oliveira de Azeméis;
- Estradas regionais: ER 225 entre a freguesia de Alvarenga e o limite com o município de Cinfães, a Este, e ER 326-1 entre as freguesias de Arouca e Alvarenga;
- Estradas nacionais desclassificadas: EN 224, EN 225 entre Alvarenga e o limite com o município de Cinfães, a Norte, EN 326 entre o entroncamento com a EN 327 (freguesia de Mansores) e o limite com o município de Santa Maria da Feira, e EN 224-1 entre o km 0 e o limite com o concelho de Vale de Cambra.

Os principais eixos rodoviários são: a EN224 que atravessa o território de Norte a Sul, e que no Plano Rodoviário Nacional corresponde ao IC35; a EN327/EN326, sendo este o principal eixo de penetração no município desde o litoral, através da Serra da Freita para São Pedro do

Sul; e a EN225, que no Plano Rodoviário Nacional é designada por ER225, ligando a freguesia de Arouca a Alvarenga e o município de Castro Daire (Município de Arouca 2016).

As estradas municipais estendem-se por 1141,474 km. Estas distribuem-se de forma diferente por todo o município e a sua densidade por freguesia varia entre 1,87 km/km<sup>2</sup> (em Alvarenga) e 7,83 km/km<sup>2</sup> (em Várzea) (Tabela 4.1).

As vias florestais representam 620,151 km do município. Os caminhos florestais encontram-se divididos de forma diferente pelas diferentes freguesias. Salienta-se que a freguesia de Alvarenga é a que apresenta a maior densidade de caminhos com 10,86 km/km<sup>2</sup>, seguida da freguesia de São Miguel do Mato (4,66 km/km<sup>2</sup>) (Tabela 4.2). Contudo, verifica-se na área de estudo freguesias sem qualquer caminho florestal, como Várzea.

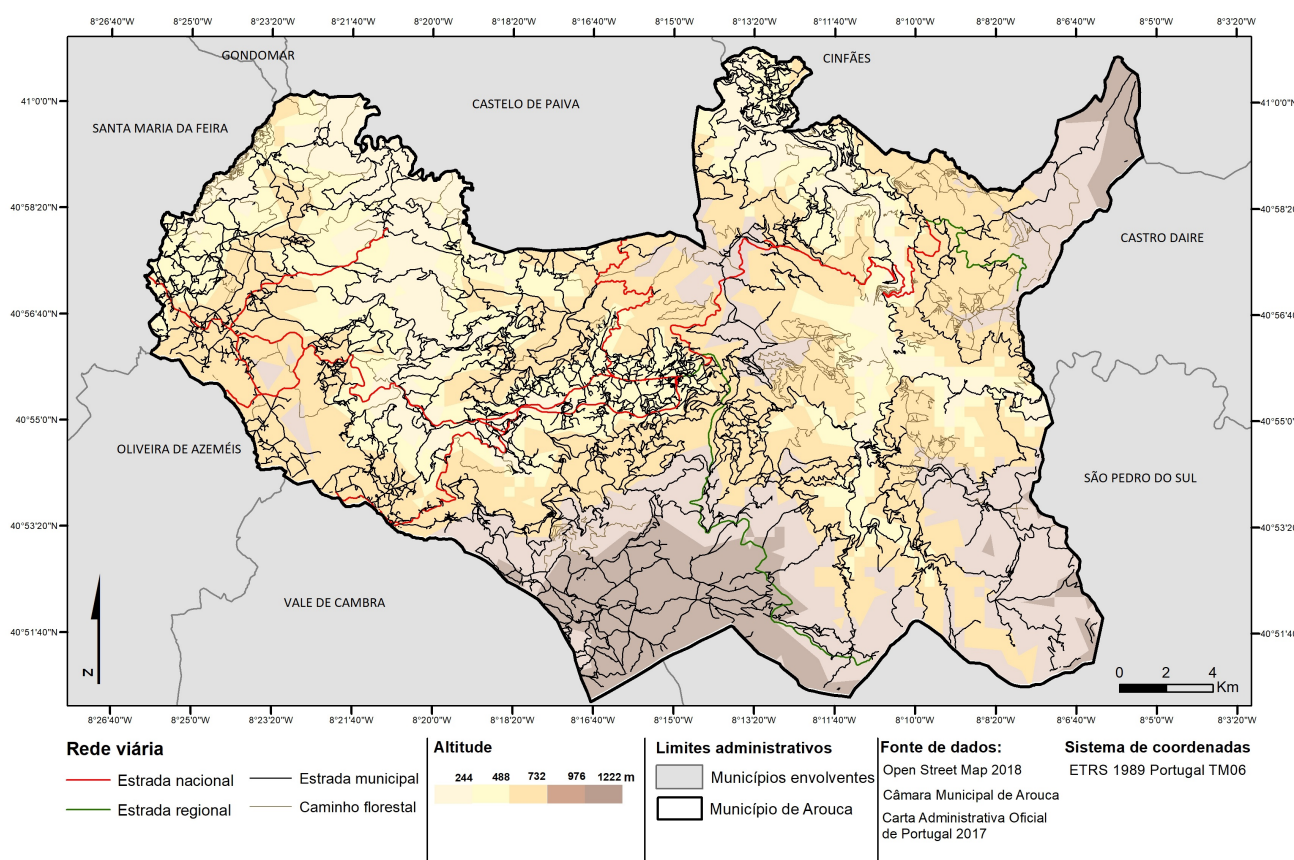


Figura 4.1: Rede viária no município de Arouca

Tabela 4.1: Densidade de estradas municipais por freguesia na área de estudo.

Freguesia	Estradas municipais (km)	Densidade (km/km <sup>2</sup> )
Alvarenga	72,49	1,87
Chave	49,99	4,58
Escariz	65,35	3,63
Fermedo	56,56	5,09
Mansores	42,47	3,01
Moldes	94,42	3,37
Rossas	48,14	4,33
Santa Eulália	78,90	3,42
São Miguel do Mato	44,89	2,62
Tropeço	77,55	4,34
UF de Arouca e Burgo	101,9	6,68
UF de Cabreiros e Albergaria da Serra	100,1	3,2
UF de Canelas e Espiunca	125,0	3,49
UF de Covêlo de Paivó e Janarde	116,2	2,61
Urrô	53,55	4,96
Várzea	14,02	7,83
Total	1141,47	65,03

Tabela 4.2: Densidade dos caminhos florestais na área de estudo.

Freguesia	Caminhos florestais (km)	Densidade (km/km <sup>2</sup> )
Alvarenga	97,66	10,86
Chave	8,57	0,78
Escariz	11,05	0,61
Fermedo	16,38	1,48
Mansores	18,55	1,32
Moldes	69,97	2,57
Rossas	8,61	0,78
Santa Eulália	60,17	2,61
São Miguel do Mato	79,66	4,66
Tropeço	12,63	0,72
UF de Arouca e Burgo	20,71	1,36
UF de Cabreiros e Albergaria da Serra	16,19	0,51
UF de Canelas e Espiunca	116,10	4,65
UF de Covêlo de Paivó e Janarde	73,12	1,65
Urrô	10,80	1,92
Várzea	0	0
Total	620,15	36,47

## 4.3 Transitabilidade

Não basta conhecer a extensão e a tipologia da rede viária para inferir as condições de circulação. É fundamental conhecer as características das estradas e relacioná-las com as características dos veículos.

### 4.3.1 As características dos veículos de combate

No combate a incêndios, são majoritariamente utilizados dois tipos de veículos: o Veículo ligeiro de combate a incêndios (VLCI) (Fotografia 4.1) e o Veículo florestal de combate a incêndios (VFCI) (Fotografia 4.2).

De acordo com o Despacho nº 21638/2009 de 28 de setembro de 2009 da ANPC (Ministério da Administração Interna 2009), *"Veículo florestal é o veículo a motor capaz de utilizar todos os tipos de vias públicas, bem como terrenos acidentados, equipado com chassis todo o terreno, da categoria 3 de acordo com a EN 1846-1,2,3."* No mesmo despacho, no capítulo II referente aos veículos, no artigo 4º define-se os veículos de socorro e combate a incêndios como *"veículos de primeira intervenção equipados com bomba de incêndio, tanque de água e outros equipamentos necessários para o salvamento e combate a incêndios"*. Na alínea dois do artigo supra mencionado, define-se VLCIs como *veículo ligeiro do tipo todo-o-terreno (4x4), de categoria L2, dotado de bomba de serviço de incêndios, destinado prioritariamente à intervenção nos incêndios rurais e urbanos. Possui tanque de água com uma capacidade mínima de 500 litros;* e VFCI como *"veículo todo o terreno (4x4), de categoria M3, dotado de bomba de serviço de incêndios, destinado prioritariamente à intervenção nos incêndios florestais e rurais. Possui tanque de água com uma capacidade mínima de 3.000 litros."*

Salienta-se que a principal diferença entre os dois veículos foca-se assim na dimensão, sendo que um é um veículo ligeiro e outro um veículo pesado, e na quantidade de água que cada um transporta.

### 4.3.2 A transitabilidade

A rede viária no município de Arouca caracteriza-se por ser mais densa junto às áreas mais urbanas e menos densa nas áreas serranas. Apesar da extensão das vias, muitas destas não apresentam as características básicas de circulação ou apresentam uma sinuosidade que se torna problemática, para veículos de combate a incêndios, nomeadamente em áreas montanhosas (Fig. 4.2).

Neste trabalho, para definir a transitabilidade ou a sua ausência na área de estudo definiram-se como parâmetros de avaliação a largura das vias e o seu declive. Para os caminhos florestais foi também considerado como parâmetro o estado de limpeza da via.

Assim, de acordo com a Resolução do Conselho de Ministros n.º 148-A/2002, o dimensionamento das infraestruturas viárias municipais é definido com uma largura mínima de 3 m. Em questões de segurança de circulação para veículos de combate, é definido pela Escola Nacional de Bombeiros (ENB), que o declive o aclive terão que ser no máximo 50%.

De acordo com os parâmetros acima referidos, calculou-se a transitabilidade das estradas municipais e dos caminhos florestais, assumindo-se que as vias nacionais e regionais seriam todas passíveis de ser transitadas.

Em termos de estradas municipais verifica-se que de 1 141,474 km, são transitáveis para veículos de combate pesados (VFCI), 964,504 km (Tabela 4.3). O município, apresenta uma





Fotografia 4.1: Veículo ligeiro de combate a incêndios



Fotografia 4.2: Veículo florestal de combate a incêndios

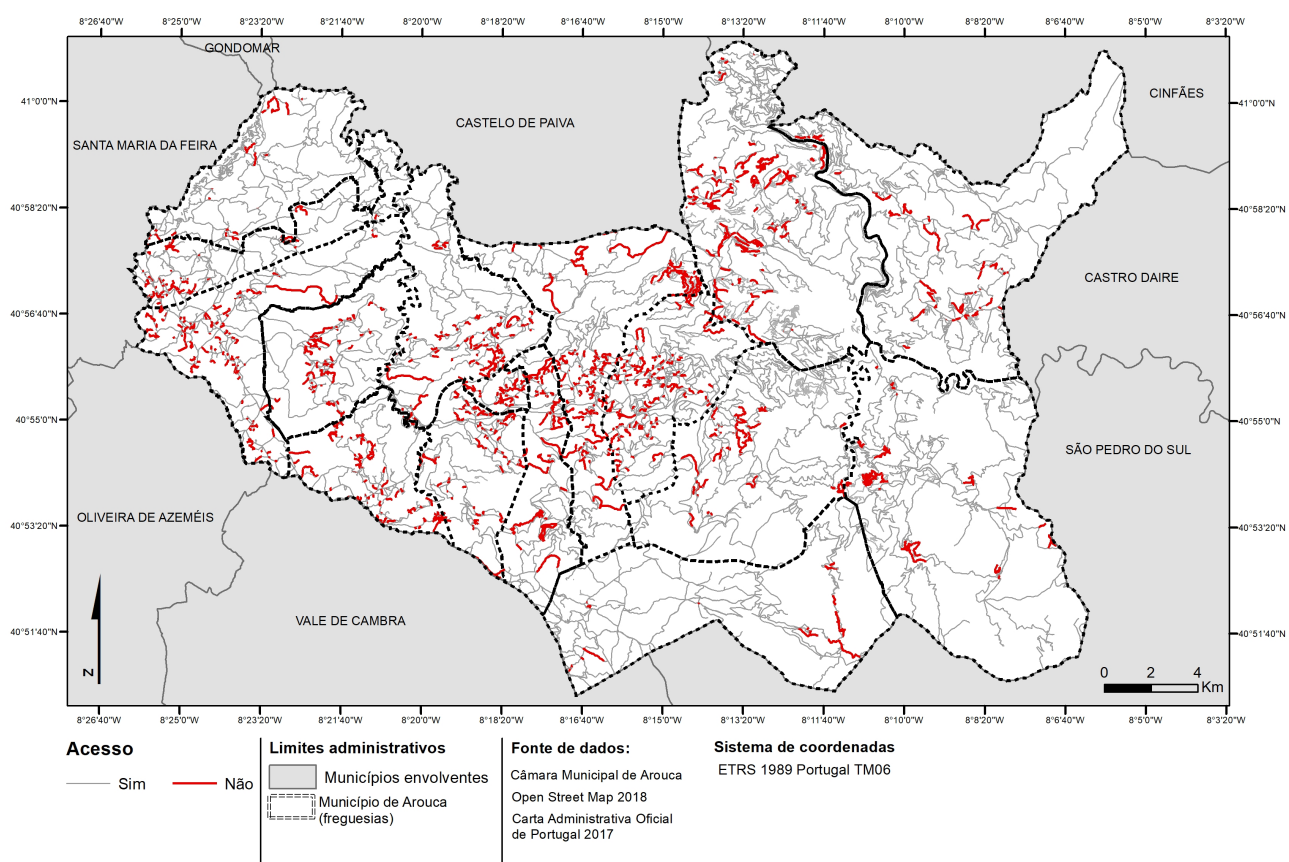


Figura 4.2: Acessibilidade dos veículos florestais de combate a incêndios no município de Arouca

elevada extensão de estradas municipais sem que os veículos destinados ao combate consigam transitar neles. Aproximadamente 177 km da rede de estradas municipais, encontram-se sem condições de circulação para veículos de combate. Estas localizam-se principalmente na freguesia de Santa Eulália e na UF de Arouca e Burgo.

Os caminhos florestais apresentam uma elevada extensão na área de estudo (620,15 km). Do total da extensão, 71,28 km não são considerados transitáveis (Tabela 4.4). Convém salientar que é na UF de Canelas e Espiunca que há maior extensão de caminhos florestais não transitáveis, seguido das freguesias de Santa Eulália e Alvarenga.

Salienta-se que nas vias florestais transitáveis, se diferencia as que estão limpas (Fotografia 4.3), as parcialmente obstruídas (Fotografia 4.4) e as obstruídas (Fotografia 4.5). Geralmente as que se encontram parcialmente obstruídas e as obstruídas encontram-se assim porque não é realizado o corte da vegetação nem a manutenção das bermas (Fig. 4.3). Verifica-se que no município existem 106,9 km de caminhos que são transitáveis mas que se encontram parcialmente obstruídos (Tabela 4.5), assim como 209,11 km estão obstruídos.

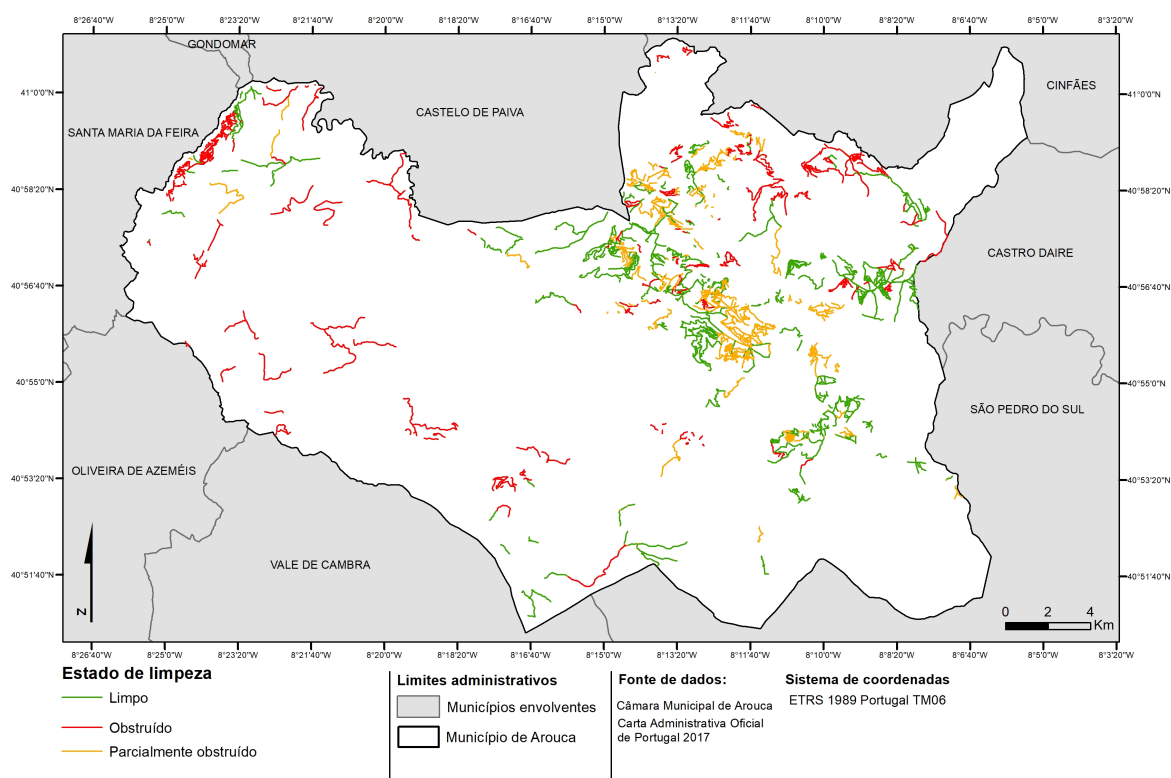


Figura 4.3: Estado de limpeza das vias florestais (Data: Maio de 2018).

Tabela 4.3: Transitabilidade das estradas municipais no município de Arouca

Freguesia	Total (km)	Transitável (km)	Não transitável (km)
Alvarenga	72,492	66,682	5,810
Chave	49,992	36,324	13,668
Escariz	65,350	47,092	18,258
Fernedo	56,559	48,764	7,795
Mansores	42,469	32,122	10,347
Moldes	94,417	81,217	13,200
Rossas	48,137	37,083	11,054
Santa Eulália	78,893	55,684	23,209
São Miguel do Mato	44,893	42,339	2,534
Tropeço	77,549	61,346	16,203
UF de Arouca e Burgo	101,900	81,023	20,881
UF de Cabreiros e Albergaria da Serra	100,800	95,793	4,295
UF de Canelas e Espiunca	125,030	120,600	4,435
UF de Covêlo de Paivó e Janarde	116,150	109,453	6,705
Urrô	53,545	39,856	13,689
Várzea	14,018	8,504	5,514
Total	1 141,479	963,882	177,597

Tabela 4.4: Transitabilidade dos caminhos florestais na área de estudo.

Freguesia	Transitável (km)	Não transitável (km)
Alvarenga	90,531	7,12
Chave	8,271	0,30
Escariz	11,05	0
Fernedo	16,38	0
Mansores	18,55	0
Moldes	69,97	0
Rossas	8,61	0
Santa Eulália	48,08	12,09
São Miguel do Mato	76,18	3,48
Tropeço	12,83	0
UF de Arouca e Burgo	15,67	5,04
UF de Cabreiros e Albergaria da Serra	14,49	1,70
UF de Canelas e Espiunca	92,26	23,84
UF de Covêlo de Paivó e Janarde	63,26	9,86
Urrô	6,79	4,00
Várzea	0	0
Total	548,88	71,28





Fotografia 4.3: Exemplo de caminho florestal limpo. (Data: 12/02/2018)





Fotografia 4.4: Exemplo de caminho florestal parcialmente obstruído.(Data: 12/02/2018)





Fotografia 4.5: Exemplo de caminho florestal obstruído. (Data: 12/02/2018)

Tabela 4.5: Distribuição da transitabilidade pelo estado de limpeza dos caminhos florestais.

	Transitáveis (km)	Não transitáveis (km)
Limpos	237,95	31,255
Parcialmente obstruídos	106,9	19,195
Obstruídos	209,11	17,206
Total	553,96	66,191

Ainda que a rede viária do município de Arouca seja extensa, esta nem sempre apresenta condições de circulação para veículos de combate a incêndios rurais.

Em geral, as condições de transitabilidade são boas, mas existem áreas onde um elevado número de vias rodoviárias não são transitáveis. Em todas as freguesias existem condições de não transitabilidade. A situação é particularmente grave nas freguesias de Várzea e de Santa Eulália. A primeira freguesia referida, apresenta 63 km de vias, das quais 35,63 km (57%) não são transitáveis. Verifica-se o mesmo na freguesia de Santa Eulália, uma vez que de 259,42 km, 97 km não são transitáveis. O mesmo se passa com as vias florestais. Por exemplo, na freguesia de Urrô dos 6,792 km de vias florestais, 4,005 km não são transitáveis, o que representa 59% do total das vias.

### Cruzamentos

Num teatro de operações é comum que circulem vários veículos de combate na mesma área. Nas estradas nacionais, regionais e municipais, geralmente o cruzamento de veículos é possível. Nas vias florestais na maior parte das vezes o cruzamento de veículos não é possível senão em determinados pontos. Como foi referido na metodologia da rede viária florestal, durante o trabalho de campo foram identificados os pontos nas vias florestais onde os veículos de combate poderão cruzar. Durante o trabalho de campo, foi considerada a largura mínima de cada tipo de veículo para que se calculasse a largura mínima necessária para o cruzamento de veículos.

Os valores considerados foram os 3 metros para os VFCI e os 2,54 metros para os VLCI, por serem as larguras máximas permitidas para a circulação.

Foram considerados pontos onde a largura fosse superior a 6 metros, para o cruzamento de dois autotanques, de 5,54 metros para o cruzamento de um VFCI e de um VLCI e de 5,08 metros para o cruzamento de dois veículos ligeiros.

Os pontos verdes correspondem ao cruzamento de dois veículos pesados, os pontos vermelhos correspondem ao cruzamento de dois veículos onde um é pesado e outro é ligeiro e por fim, os pontos azuis, onde é possível que dois veículos ligeiros se cruzem (Fig. 4.4).

Verifica-se que a maioria dos pontos que surgem são verdes, ou seja, onde o cruzamento entre dois veículos pesados se pode efetuar. Ora, uma vez que os outros veículos de combate considerados apresentam dimensão inferior, verifica-se que nestes locais estes também se poderão cruzar.

As freguesias com mais pontos de inversão de marcha entre dois pesados correspondem a São Miguel do Mato (29), à UF de Canelas e Espiunca (24), a Alvarenga (21) e à freguesia de Moldes (16). Em relação ao cruzamento de um veículo ligeiro e de um pesado, refere-se que este tem maior representatividade em São Miguel do Mato contabilizando-se 41 pontos, assim como em relação ao cruzamento de dois ligeiros (6).

No município verificam-se diversas freguesias onde não existe qualquer ponto de cruzamento entre veículos de combate a incêndios, como Chave, Fermedo, Mansores, Rossas, Urrô



e Várzea.

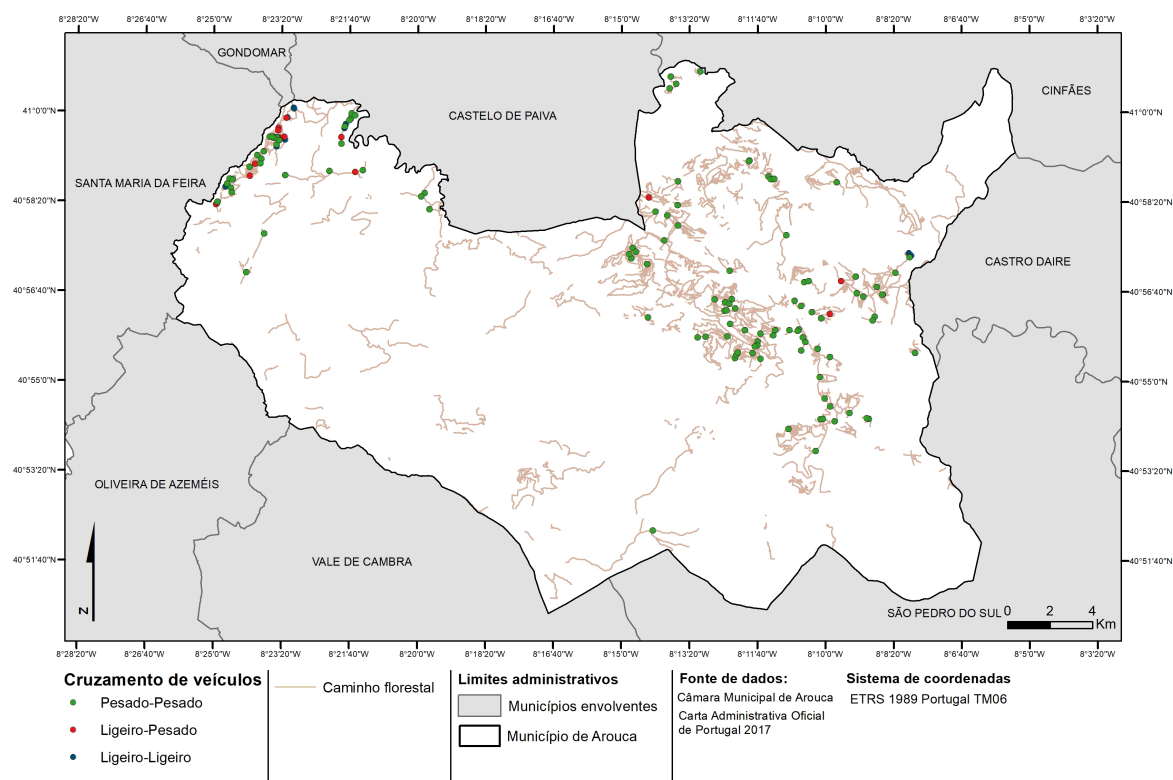


Figura 4.4: Pontos de cruzamento na área de estudo.

### **Pavimentos**

O pavimento das vias rodoviárias afeta as condições de circulação, nomeadamente em termos de segurança e comodidade. Ainda que a pavimentação não seja um fator crucial na circulação de veículos de combate, dado que os veículos são na maioria todo-o-terreno, considera-se que esta condição limita tanto a velocidade como as condições gerais de circulação.

No município de Arouca verifica-se que são diversas as estradas que não se encontram pavimentadas. Na área de estudo, grande parte dos caminhos florestais não são em alcatrão mas sim em terra batida. Considera-se que os pisos em terra tornam-se frágeis ao longo do tempo, podendo ocorrer ravinamentos e também desabamentos. Quando um veículo de combate circula em caminhos florestais com estas condições, deverá ter em conta a segurança que o piso oferece.

### **Inversão de marcha**

É comum que numa situação de combate os veículos circulem em vias florestais onde não conseguem inverter a marcha. Estes pontos, foram considerados para os VFCIs, por necessitarem de uma via mais larga para efetuarem a inversão de marcha. Foi considerada uma largura de 18 metros, por ser o diâmetro normal de viragem discriminado no Regulamento de Especificações Técnicas de Veículos e Equipamentos Operacionais dos CBS. Mansores e Várzea são as únicas freguesias que não apresentam qualquer ponto de inversão de marcha. Contudo, muitas outras são frágeis: Chave (5), Fermedo (4), Urrô (4) e Rossas (1). Não obstante, a UF de Canelas e Espiunca apresenta uma forte rede de pontos de inversão de marcha, com 391 distribuídos por 35,79 km<sup>2</sup>. Da mesma forma, em Alvarenga existem 251, assim como em Janarde com 169 e Moldes com 150 pontos.

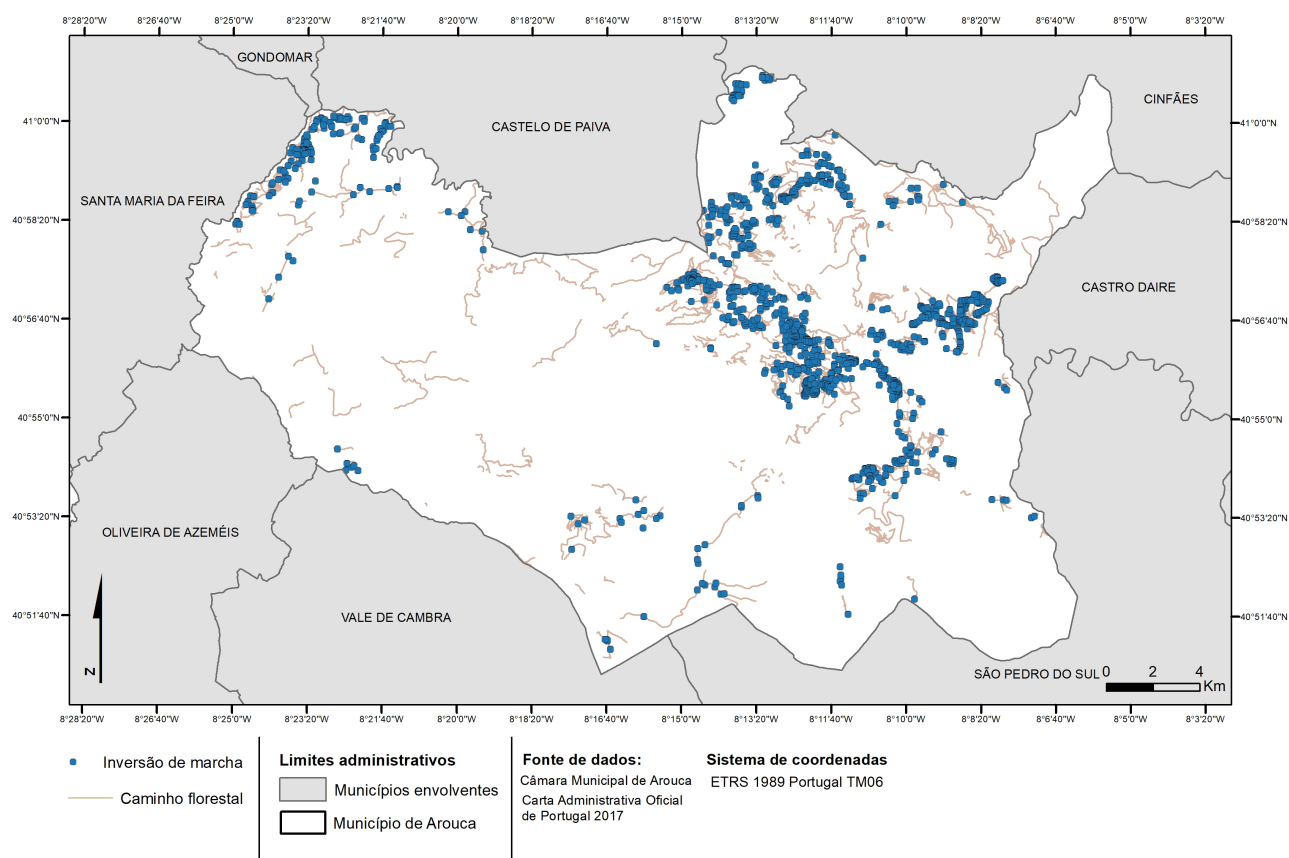


Figura 4.5: Pontos de inversão de marcha na área de estudo.

## 4.4 Pontos de água

Os meios aéreos de combate aos incêndios rurais em Portugal, são utilizados com dois objetivos: o primeiro foca-se em dominar as ignições no seu estado inicial, o segundo consiste em limitar o desenvolvimento dos incêndios. Estes, apresentam-se como vantajosos uma vez que são: rápidos, flexíveis em termos de emprego, conseguem aceder a áreas onde os meios terrestres não chegam, permitem utilizar produtos retardantes e apresentam uma vista privilegiada sobre o desenvolvimento do incêndio. A operacionalidade dos meios aéreos pode ser limitada ou interdita em função do vento, da visibilidade e da intensidade do incêndio.

Os meios aéreos que colaboram com a ANPC são constituídos por helicópteros e aviões, sendo classificados de acordo com a sua missão, com a capacidade de água que transportam e com o tipo de empenho no âmbito da proteção civil (ANPC 2009).

Nesta investigação distinguiram-se apenas os aviões dos helicópteros de acordo com o acesso aos pontos de água. Os pontos de água de acesso aéreo são condicionados pelo meio de combate utilizado existindo os meios pesados anfíbios e os meios aéreos helicópteros de primeira intervenção. Os primeiros, os meios aéreos pesados anfíbios, abastecem em linhas de água com determinadas condições, nomeadamente com pontos de *scopping* (abastecimento), uma vez que necessitam de ser linhas de água. No município de Arouca não existe qualquer ponto de *scopping*. Os segundos, os helicópteros de primeira intervenção, apresentam uma maior flexibilidade, aquando comparados com os anteriores, uma vez que não necessitam de condições tão restritas, podendo abastecer em tanques e piscinas. A disponibilidade de pontos de água para os meios destinados ao combate é um fator fundamental para o sucesso da intervenção. Em função da acessibilidade aos meios aéreos e terrestres os pontos de água foram classificados em terrestres, aéreos e mistos.

Segundo a base de dados da RISE Arouca apresenta uma fraca rede de pontos água terrestres, que correspondem a hidrantes, existindo apenas 33 no município (Fig. 4.6). A freguesia que apresenta o maior número de hidrantes é a de Alvarenga, tendo disponíveis 8. A UF de Cabreiros e Albergaria da Serra, apresenta 5 hidrantes, sendo a segundo maior número disponível. As freguesias de Tropeço, Urrô, e a UF de Canelas e Espiunca apresenta um total de 3 hidrantes cada. Com 2 hidrantes disponíveis estão as freguesias de São Miguel do Mato, Rossas e Moldes. As freguesias de Escariz, Mansores, Santa Eulália, e as UF de Arouca e Burgo e a de Covêlo de Paivó e Janarde, só apresentam um hidrante. Existem no município freguesias que não apresentam qualquer hidrante, sendo estas as freguesias de Chaves e Várzea.

O que diferencia os pontos de água de acesso aéreo dos pontos de água de acesso misto, é a distância à via mais próxima, considerando-se que esta teria que ser menor ou igual a 30 metros. Esta distância foi considerada de acordo com o tamanho em metros da mangueira de abastecimento obrigatória, existente nos meios de combate.

Contabilizam-se 59 pontos de água classificados como "Acesso aéreo", sendo estes todos aqueles que estão livre de obstáculos para meios de combate aéreos e impossíveis de aceder por parte dos meios de combate terrestres. Os pontos de água classificados como "Acesso misto" podem ser acedidos tanto por meios terrestres como por meios aéreos, existindo no total 112.

Para a criação da base de dados correspondente às piscinas, verificaram-se todas as existentes através do GE. Desta base foram eliminadas todas as piscinas que se encontravam cobertas com estruturas inflexíveis, uma vez que se encontram impossíveis de ser acedidas por meios aéreos, existindo no total 455. Salienta-se que as piscinas podem igualmente ser utilizadas por meios de combate terrestres.

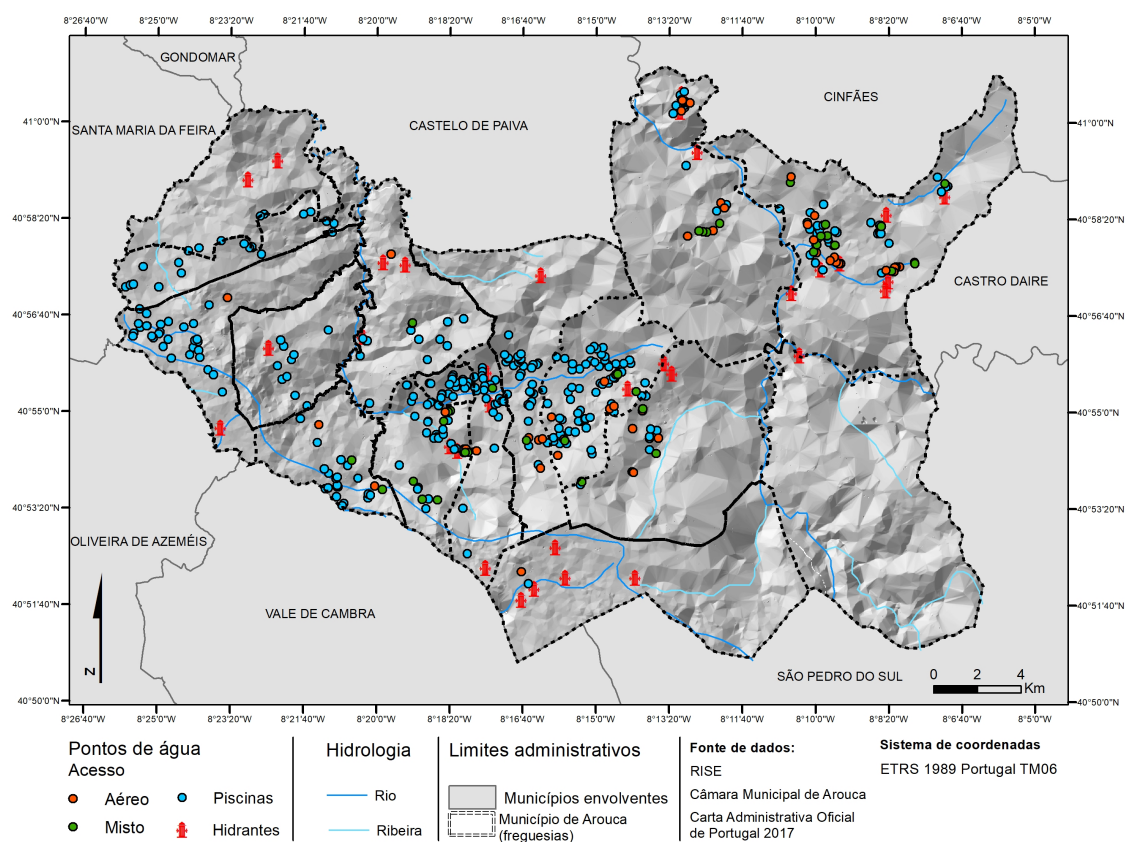


Figura 4.6: Pontos de água na área de estudo segundo a sua tipologia (Maio de 2018).

## 4.5 O tempo de resposta

### 4.5.1 Ataque inicial: o tempo máximo de resposta

Segundo a Diretiva Operacional Nacional nº2- DECIR 2018 (Conselho de Ministros 2018, p. 26), o ataque inicial consiste no acionamento imediato e em simultâneo com o meio aéreo e em triangulação de *três Veículos de Combate a Incêndios dos três CBS mais próximos do local do incêndio, das equipas de vigilância e ataque inicial que se encontrem nas proximidades do incêndio, tendo em vista uma ação rápida e incisiva nos primeiros momentos; Este ataque inicial deve permitir colocar o primeiro meio de intervenção operacional, no início de um incêndio, até 20 (vinte) minutos de pois do despacho inicial*. Depois de detetado e localizada a ignição de um incêndio, a principal preocupação é colocar os meios de intervenção operacional nesse local, no mais curto espaço de tempo.

Reconhece-se que para que os meios destinados ao combate cheguem ao local da ignição, terão de percorrer todo um trajeto desde o quartel. O tempo que os meios demoram a percorrer até chegar ao incêndio, está diretamente associado à distância que terão de percorrer assim como às características e condições que a via de circulação permite.

Neste trabalho, o tempo de resposta dos meios não foi considerado de acordo com os sinais de trânsito existentes nas vias, por não serem relevantes para os meios destinados ao ataque inicial.

### 4.5.2 Operacionalização do ataque inicial

Considerando as condições meteorológicas que frequentemente afetam Portugal, os incêndios ou são controlados no período destinado ao ataque inicial ou será muito difícil extingui-los. Quando as condições meteorológicas são extremas e a acumulação de combustível é muito elevada, e ainda que as forças de combate cheguem em tempo igual ou inferior a 20 min, o incêndio poderá já estar fora de controlo.

O tempo de resposta dos meios e forças de combate está diretamente relacionado com as acessibilidades e com a disponibilidade de meios. Na área de estudo existe apenas um corpo de bombeiros (BV Arouca), contudo, e tendo em conta o ataque inicial e a triangulação dos meios terrestres dos três CBS mais próximos do incêndio (Protecção Civil 2018), foi necessário localizar os CBS dos municípios vizinhos, dado que qualquer um deles poderá ser acionado. Os CBS que poderão integrar a triangulação são: BV Cinfaes, BV Fajões, BV Gondomar, BV Melres, BV Areosa-Rio Tinto, BV São Pedro da Cova, BV Valbom, BV Lourosa, BV Arrifana, BV Feira, BV Oliveira de Azeméis, BV Nespereira, BV Castro Daire, BV Farejinhãs, BV São Pedro do Sul, Corpo de Salvação Pública de São Pedro do Sul, BV Santa Cruz da Trapa, BV de Vale de Cambra e BV de Castelo de Paiva.

A localização dos quartéis de bombeiros geralmente é nas cotas mais baixas, o que assume bastante relevância no combate dos incêndios rurais na área de estudo, uma vez que o município de Arouca apresenta altitudes dos 50 m aos 1 222 m. Ainda que a rede de acessibilidades apresente uma extensão razoável (1 870,19 km), e dos municípios vizinhos beneficiarem igualmente de boas acessibilidades, verifica-se que as vias apresentam constrangimentos físicos o que aumenta o tempo de resposta dos bombeiros.

A topografia na área de estudo é outro aspeto a ter em conta, nomeadamente a existência de declives acentuados. Se por um lado estes dificultam a circulação de veículos de combate, por outro facilitam o desenvolvimento das chamas, uma vez que à medida que os declives aumentam, estas também se intensificam. Reconhece-se que estes podem afetar significativamente a taxa de propagação de um incêndio, referindo que a taxa de propagação da frente de fogo aumenta

duas vezes quando os declives forem de 10° e quatro vezes quando passam a 20° (Butler *et al.* 2007) (Tabela 4.6). Assim, para além de contribuírem para a progressão de chamas, também interferem no combate direto, dado que quanto maior for o declive mais difícil será chegar à frente de fogo, impossibilitando muitas vezes o ataque inicial (Vasconcelos 2013).

Tabela 4.6: Classe de declives e as suas condicionantes (Fonte: *Adaptado de* Lourenço e NAVE 2006).

Classes de declive		Condicionantes	
		Combate	Comportamento do fogo
< 2%	≤ 1°	Área de infiltração máxima	Velocidade baixa
2-10%	1,1-6°	Praticáveis por pessoas e veículos normais	Duplica a velocidade (B. Butler <i>et al.</i> , 2007)
11-20%	6,1-11°	Marcha só possível a passo, os veículos normais apresentam alguma dificuldade	Quadruplica a velocidade (B. Butler <i>et al.</i> , 2007; Viegas, 1989)
21-50%	11,1-26°	Praticáveis apenas por veículos todo o terreno	Fogo Eruptivo (Viegas, 2006)
> 50 %	> 26°	Marcha quase impossível, só veículos especiais operam	

No combate a incêndios rurais é fundamental considerar o ataque inicial para evitar que pequenos focos de incêndio evoluam para grandes incêndios, devendo ser considerados os fortes declives, devido a fragilidade destas áreas. As freguesias com maiores declives (UF de Covêlo de Paivó e Janarde e UF de Cabreiros e Albergaria da Serra), integram as áreas onde os meios de combate demoram mais de 20 min a chegar.

Considerando que para qualquer intervenção os meios terão de se deslocar ao longo de todo um percurso, referem-se as acessibilidades a algumas áreas do município como um dos pontos fracos. As acessibilidades são afetadas por diversos fatores, como a sua qualidade, o grau de densidade, o tipo de transporte, e o pavimento, o que numa topografia irregular, com relevos acidentados das áreas montanhosas, aumenta o tempo de percurso dos diferentes meios. A resposta operacional, depende diretamente do tempo de deslocação que é influenciado pelos difíceis traçados das vias, que são consequência do relevo. Como foi referido anteriormente, o tamanho da área ardida aumenta em função do tempo de resposta, ainda que com menos ocorrências. De facto, os grandes incêndios ocorridos em Arouca, tiveram ignição para além dos 20 min do ataque inicial. Com efeito, no ano de 2016, a classe >20 min é responsável por 17 023 ha de 22 850 ha da área ardida. Verifica-se que a maioria do município de Arouca está a mais de 20 minutos de percurso partindo de qualquer CB (Fig. 4.7).

Da área total (329,33 km<sup>2</sup>), 219,77 km<sup>2</sup> ficam a mais de 20 minutos de trajeto, partindo de qualquer CB o que significa mais de 50% do município de Arouca, se encontra com uma resposta operacional mais demorada, sendo frequentemente considerado apenas o ataque ampliado. Na área de estudo, comprova-se que é onde o terreno é mais acidentado e menos acessível às forças e meios de combate, que os incêndios apresentam maior extensão de área ardida. É também na área >20 min que a maior concentração de floresta acontece, verificando-se que corresponde a 138,01 km<sup>2</sup>, dos 206,69 km<sup>2</sup>. As espécies florestais que se sobressaem são o eucalipto e o pinheiro bravo com ocupações de 98,04 km<sup>2</sup> e 26,97 km<sup>2</sup>, respetivamente.

É frequentemente nas localizações mais remotas que as ignições resultam em incêndios de grandes dimensões (Moreira *et al.* 2010). De acordo com estas características operacionais, reconhece-se que o sucesso do ataque inicial em áreas mais distantes e de acesso reduzido, é significativamente mais baixo. Nestes locais, onde a densidade populacional é baixa assim como a rede viária, a deteção dos incêndios é mais demorada e os tempos de ataque inicial são em geral mais longos. Em Portugal, verifica-se que as áreas mais próximas a meios e forças de

combate, apresentam um ataque inicial mais rápido e musculado. O município de Arouca, apresenta igualmente uma resposta operacional forte quando as ignições ocorrem em áreas onde os meios rapidamente chegam. No entanto, em áreas onde se tarda a chegar, os eventos assumem proporções em que frequentemente não são facilmente controlados. Com condições meteorológicas extremas, estes atingem grandes dimensões, sugerindo que a capacidade de ataque inicial foi excedida, reduzindo a sua eficácia. Uma das principais características da área de estudo é a falta de transitabilidade, o que reduz significativamente o sucesso do ataque inicial, sendo este fundamental e decisivo.

A realidade do município não significa obrigatoriamente que exista uma falha do sistema de combate, mas sim que existem limitações que são difíceis de ultrapassar, e que devem ser consideradas na prevenção do risco de incêndio e na preparação e gestão do combate.



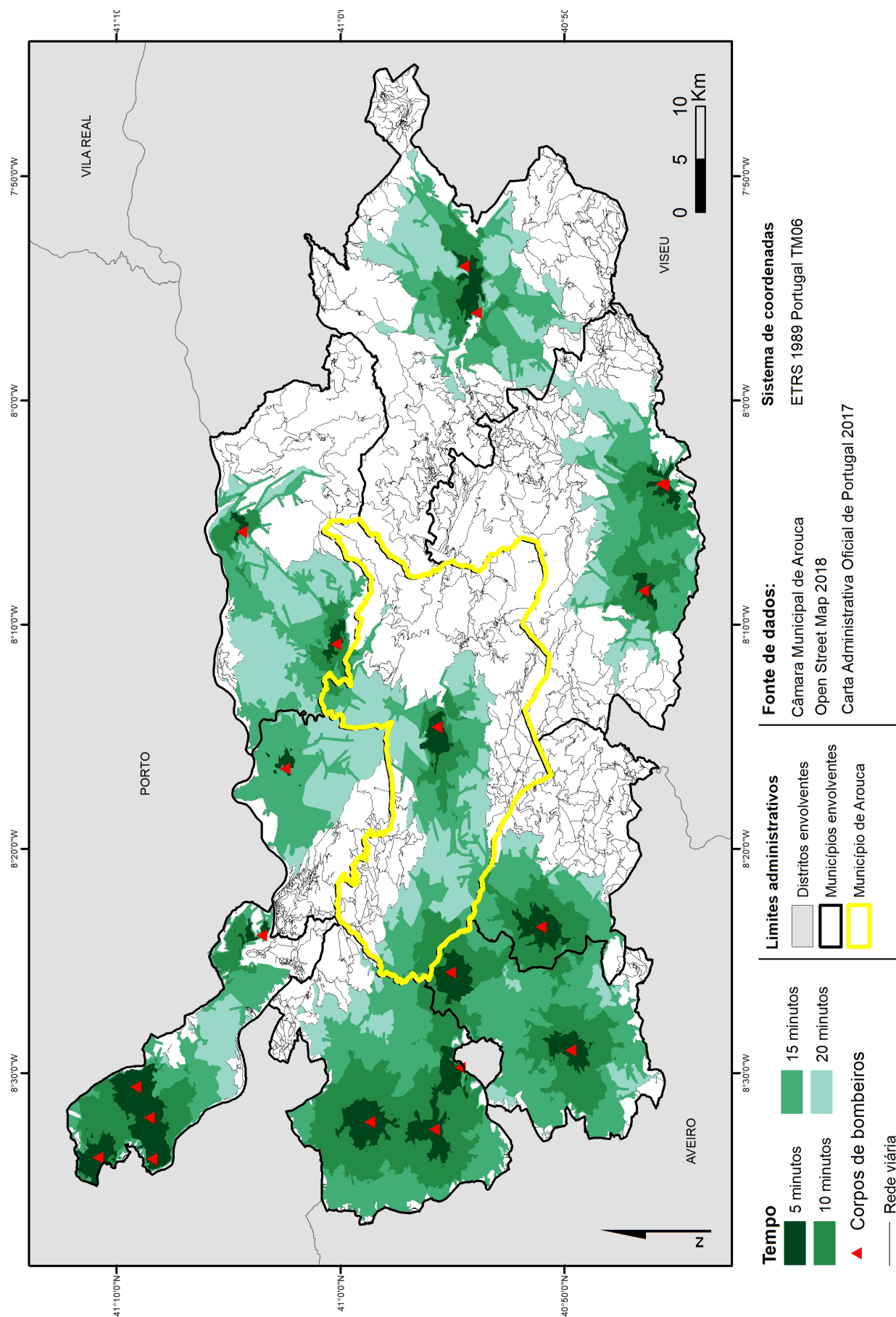


Figura 4.7: Tempo de resposta dos corpos de bombeiros.



## Capítulo 5

# A defensabilidade: do conceito à operacionalização

No modelo do ciclo da catástrofe existe três fases fundamentais: i) o *antes da catástrofe*, que integra a prevenção, mitigação e preparação; ii) o *durante a catástrofe*, que integra o alerta e a resposta da emergência; iii) e o *pós catástrofe*, que engloba as ações de recuperação.

O objetivo das atividades no período antes da catástrofe é reduzir o perigo e a vulnerabilidade (que inclui exposição, fragilidade e capacidade de ação). No caso dos incêndios rurais o POM de certa forma estabelece a ligação entre o risco e a definição de estratégias de gestão de emergência, uma vez que é utilizado para o pré posicionamento de meios. Acontece que, em alguns municípios estes meios são posicionados de forma a que toda a área esteja a menos de 20 min desde o quartel dos bombeiros. Não obstante, este pré-posicionamento de meios não garante que seja possível defender todas as pessoas e bens num determinado município. Por isso, considera-se fundamental que para além da avaliação e cartografia de risco seja feita a avaliação e cartografia da defensabilidade.

### 5.1 Conceito de defensabilidade

Como foi mencionado no capítulo 2, a defensabilidade pode ser definida como uma característica de qualquer unidade espacial (p.ex. uma comunidade, uma floresta) que no caso de ocorrência de um incêndio pode ser protegida por parte das forças operacionais e que depende da interação entre o tempo da primeira intervenção e a intensidade máxima do incêndio (Tedim *et al.* 2018). Nesta fase do trabalho, só se consideraram duas categorias- defensável e não defensável. No entanto, em trabalhos futuros a categoria defensável poderá ser subdividida em subcategorias.

A aplicação do conceito de defensabilidade destina-se a influenciar as atividades de redução do risco e pré-posicionamento de meios, assim como a organizar todo o processo de gestão da emergência. A ideia inicial foi incluir o conceito de defensabilidade na equação do risco, no entanto, rapidamente se concluiu que deveriam ser considerados dois aspetos distintos mas inter-relacionados (Fig. 5.1), uma vez que o risco é a probabilidade de ocorrência de danos relacionados com a ação de um perigo nos elementos expostos, e é sempre potencial, segundo a literatura específica

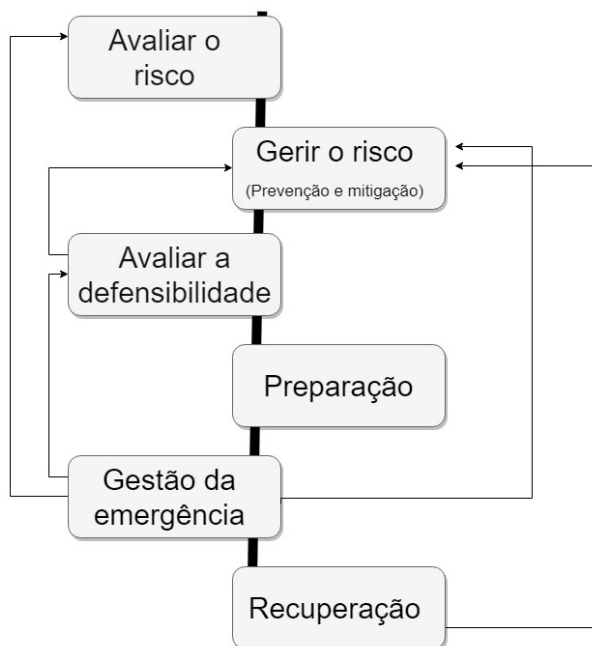


Figura 5.1: Gestão do risco.

## 5.2 Operacionalização do conceito

No modelo de operacionalização do conceito de defensabilidade considera-se quatro componentes principais: i) o comportamento potencial do fogo; ii) a rapidez da resposta; iii) a transitabilidade; e iv) os pontos de água. Não obstante, assume-se que em condições climáticas e meteorológicas extremas, o facto de se chegar em 20 min poderá não ser suficiente. Como foi referido no capítulo anterior, em eventos extremos, - após 20 min de alerta - os incêndios podem já assumir comportamentos que mesmo em condições de máxima capacidade do ataque inicial, não se conseguem controlar, uma vez que não é possível o ataque direto. Por isso, o tempo máximo para que o ataque inicial possa ser efetivo necessitaria de ser reduzido, talvez para 10 min. Isto permite sugerir que o limite dos 20 min proposto para o ataque inicial seja indexado ao risco de incêndio.

Verifica-se que dado as características do território, é fundamental assumir que em grande parte das ocorrências os meios não conseguem chegar até ao ponto de ignição em tempo igual ou inferior a 20 min. Ainda que, em muitos locais possa ser considerado o pré-posicionamento de meios para uma intervenção mais rápida, verifica-se que ainda assim, muitos locais estão a mais de 20 min de resposta operacional, como foi demonstrado anteriormente. Além disso, o pré-posicionamento pode não ser possível quando há várias ocorrências simultâneas e os meios de combate estão dispersos em diferentes teatros de operações.

A transitabilidade é outra componente que se considera essencial. Para além de se diferenciar se um caminho é transitável ou não do ponto de vista da largura, do declive e do aclave, é essencial que nos caminhos florestais se inclua o estado de limpeza das vias. Não são raras as vezes, onde existe efetivamente um caminho mas este encontra-se obstruído ou parcialmente obstruído por falta de limpeza. Para além de não permitir a circulação de um veículo de combate, muitas vezes os meios humanos também não conseguem penetrar neles, devido à densidade do combustível.

Por último, são considerados os pontos de água. Estes são elementos fundamentais no combate dos incêndios uma vez que a água é o principal meio de extinção. O facto de os meios terem que se deslocar constantemente por longas distâncias para abastecerem os tanques de água, é decisivo no comportamento do fogo, uma vez que entre o ir abastecer, o abastecer e o voltar, perdem-se pelo menos 20 min. Neste intervalo de tempo, o incêndio pode seguramente aumentar de intensidade.

Tencionava-se fazer simulações de comportamento do fogo para introduzir esta componente na operacionalização da defensabilidade mas por diversas razões, nomeadamente a inexistência de informação adequada, tal não foi possível. Para avaliar o comportamento potencial do fogo, tencionava-se utilizar modelos de comportamento do fogo, como por exemplo Dinamica EGO. A ideia era criar vários cenários definidos em função de diferentes intensidades prováveis do fogo, no sentido de identificar áreas onde a probabilidade de ocorrerem eventos extremos fosse maior.

Outros parâmetros poderiam ser incluídos no conceito, mas nesta fase do trabalho identificaram-se as variáveis fundamentais. Considera-se defensável toda a unidade espacial que esteja a menos de 20 min de percurso, que apresente estradas transitáveis e que tenha acesso a pontos de água. Como a primeira é um polígono, a segunda uma linha e a terceira um ponto, optou-se por operacionalizar-se o conceito para núcleos de povoamento que se descreve no ponto seguinte.

## 5.3 Exemplo de aplicação do conceito de defensabilidade

### 5.3.1 Identificação de povoações não defensáveis

A cartografia dos parâmetros de defensabilidade no município de Arouca permitiu identificar núcleos de povoamento sem condições de defensabilidade (Fig. 5.2): Cabreiros (Anexo A.11), Carvalhais (Anexo A.12), Castanheira (Anexo A.13), Covêlo de Paivó (Anexo A.14), Quintela (Anexo A.15), Tebilhão (Anexo A.16) e Telhe (Anexo A.10).

A maior parte destas povoações localiza-se na Serra da Freita e Montemuro. Apenas Quintela não se localiza na área montanhosa. Com base na classificação de interface urbano-florestal, verifica-se que todas elas, com a exceção da aldeia de Castanheira, encontram-se densamente agrupadas, e a sua envolvente é ocupada essencialmente por floresta e matos. A floresta facilita o desenvolvimento de incêndios de maior intensidade. É importante salientar que com a exceção de Quintela, todas se encontram fora do limite do ataque inicial, sendo que qualquer ocorrência naquela área deverá ser considerada como ataque ampliado. Nas aldeias de Carvalhais, Castanheira e Tebilhão não é possível circular mesmo com um VLCI.

Apesar dos veículos não conseguirem circular dentro das aldeias, em caso de incêndio rural, estes têm obrigatoriamente que se deslocar, de acordo com o Despacho nº 7316/2016 (Administração Interna 2016), com uma carga mínima de 25 lanços de mangueiras DN25 e 6 lanços DN38, ambos com 20 metros cada.

Após um teste com um lanço de mangueira DN25, a mais usada no combate aos incêndios rurais, com a agulheta em posição "jato" e com a bomba hidráulica do veículo em máxima força, verificou-se que o jato de água (desde o momento em que é projetado da mangueira) atinge 35 metros. É importante realçar que se podem ligar vários lanços de mangueiras uns aos outros, mas que, a água poderá sair com menos força, podendo não atingir os 35 metros.

Das aldeias referidas, apenas Carvalhais, Quintela e Tebilhão, se encontram com pontos de abastecimento de água próximos. Já as aldeias de Cabreiros, Castanheira, Covêlo de Paivó e Telhe não apresentam condições de abastecimento para veículos de combate, pelo que estas povoações dependem do auxílio externo.

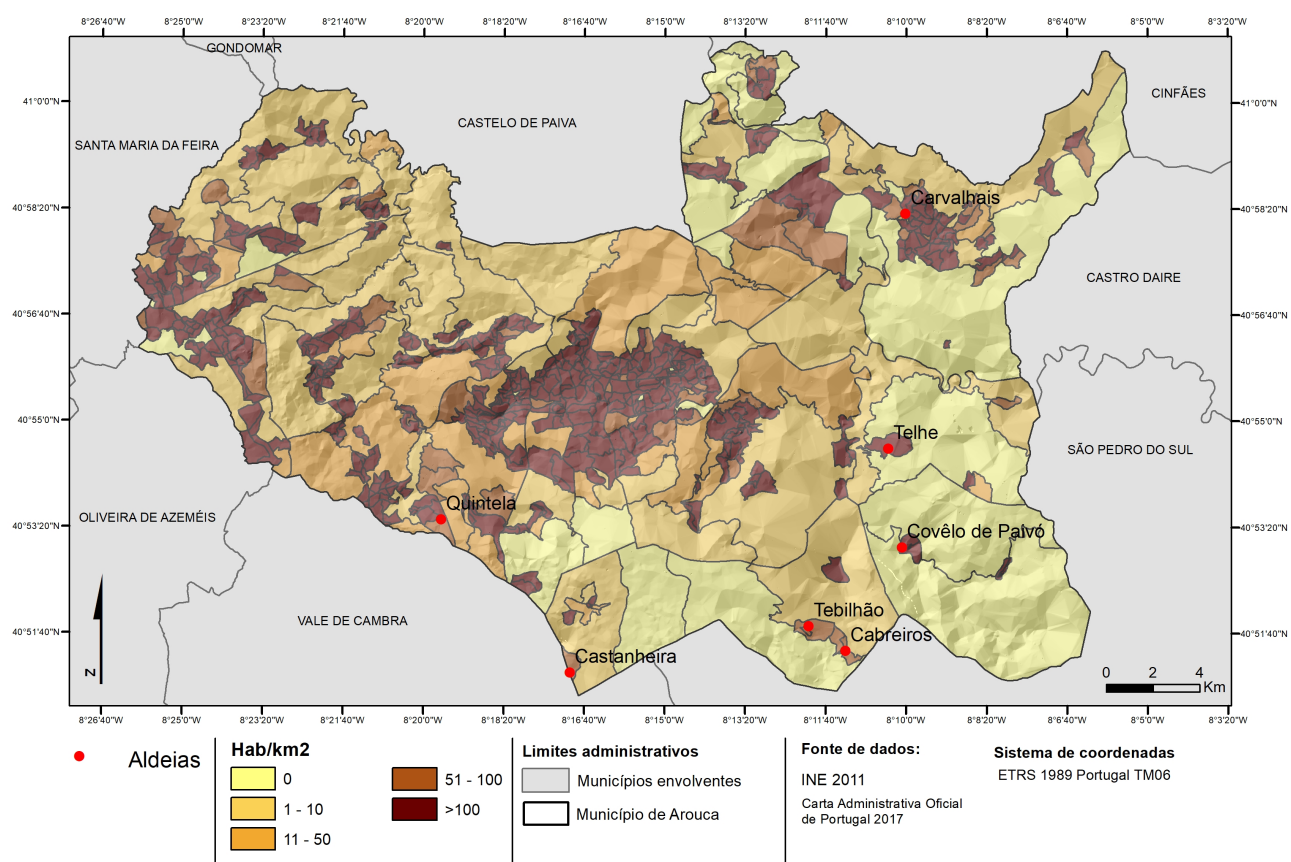


Figura 5.2: Povoamentos que apresentam problemas de transitabilidade e de circulação no interior do núcleo de povoamento.

Ainda que em algumas aldeias possa circular um veículo ligeiro, como em Cabreiros, Covêlo de Paivó, Quintela e Telhe, utilizando para isso um VLCI, considera-se, devido à frágil rede de pontos de água, que será mais vantajoso um autotanque (VFCl), uma vez que permite levar mais água.

### 5.3.2 Exemplo de Còvelo de Paivó

A aldeia de Còvelo de Paivó (Fig.5.3) localiza-se entre os 500 e os 752 m em vertentes com declives entre os 46° e os 60°. Relembra-se que a circulação dentro da aldeia é impossível com veículos pesados, pelo que não existem condições para pré-posicionamento destes meios no interior da povoação. Numa vertente humana, verifica-se que na aldeia a densidade populacional é de mais de 100 hab/km<sup>2</sup>, e segunda a categoria de interface urbano-florestal é uma povoação densamente agrupada.



Figura 5.3: Aldeia de Covêlo de Paivó. (Fonte: Google).

A ocupação do solo nesta área, é constituída por agricultura, floresta e matos. Relembra-se que grande parte do que está classificado na COS 2015 como agricultura, nesta área, verifica-se que está principalmente ocupada com herbáceas (Fig. 5.4), que secam no verão: este combustível fino favorece a rapidez de propagação do incêndio, e a vegetação é densa, não permitindo a entrada de meios na floresta, mesmo em condições ótimas de combate.

Tendo em conta as recorrências dos incêndios, verifica-se que de 1975 a 2017, a aldeia e a área imediatamente envolvente, foram afetadas de 2 a 8 vezes (Fig. 5.5). Considerando ainda os grandes incêndios que afetaram o município nos anos de 2005 e 2016, constata-se que a aldeia foi afetada pelo fogo, sendo que, os pontos de ignição dos dois incêndios ocorreram relativamente perto.





Figura 5.4: Agricultura em Covêlo de Paivó. (Fonte: Google)

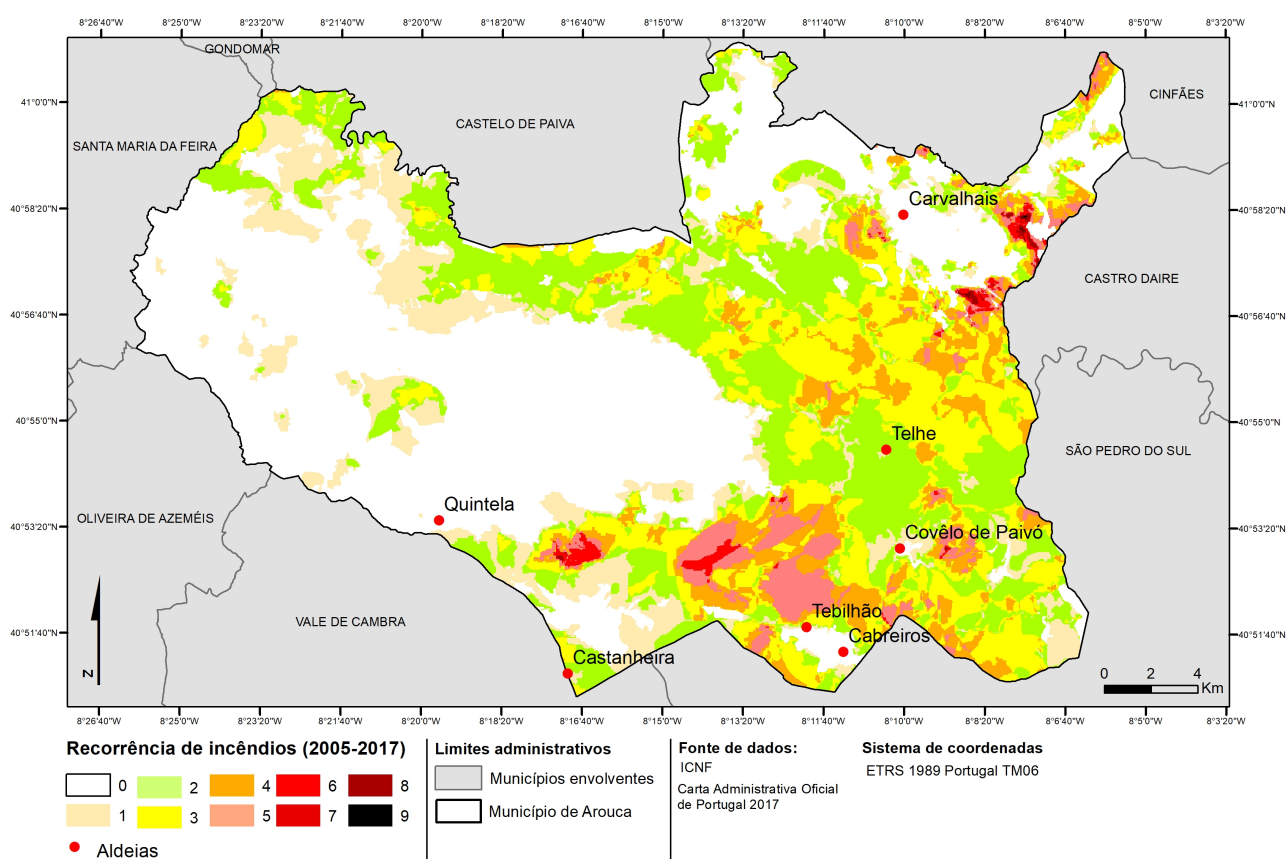


Figura 5.5: Recorrências de incêndios rurais na área de estudo.

Salienta-se que a aldeia está a mais de 20 min do quartel dos bombeiros mais próximo pelo que o ataque inicial não é possível, sendo apenas considerado o ataque ampliado.

Um outro aspeto relevante para a caracterização da aldeia, é a falta de pontos de água. Não existe qualquer ponto de abastecimento com características que o permitam de acordo com os



parâmetros definidos neste trabalho.

Como foi anteriormente referido, sabe-se que os veículos de combate do tipo VFCI terão de circular com determinado material (Administração Interna 2016). Considerando que estas normas poderão nem sempre ser consideradas ou tendo em conta que muito material se danifica em situações de combate, imagine-se que os meios de combate só beneficiam de uma mangueira. Tendo em conta os valores anteriormente referidos, ao considerar-se uma mangueira de 20 m e um jato de água de 35 m (tendo sido estes valores comprovados), verifica-se que juntos poderão atingir os 55 m. De acordo com as características da aldeia, como a falta de transitabilidade, a ausência de pontos de água e a recorrência de incêndios naquela área, realizou-se um *buffer zone* de 55 m, desde as vias acessíveis para veículos de combate, para visualizar a área que seria coberta pela água (Fig. 5.6). Assumindo que os veículos terão que se posicionar nas estradas, verifica-se que uma grande parte da área envolvente terá que arder para que os meios de combate possam atuar.

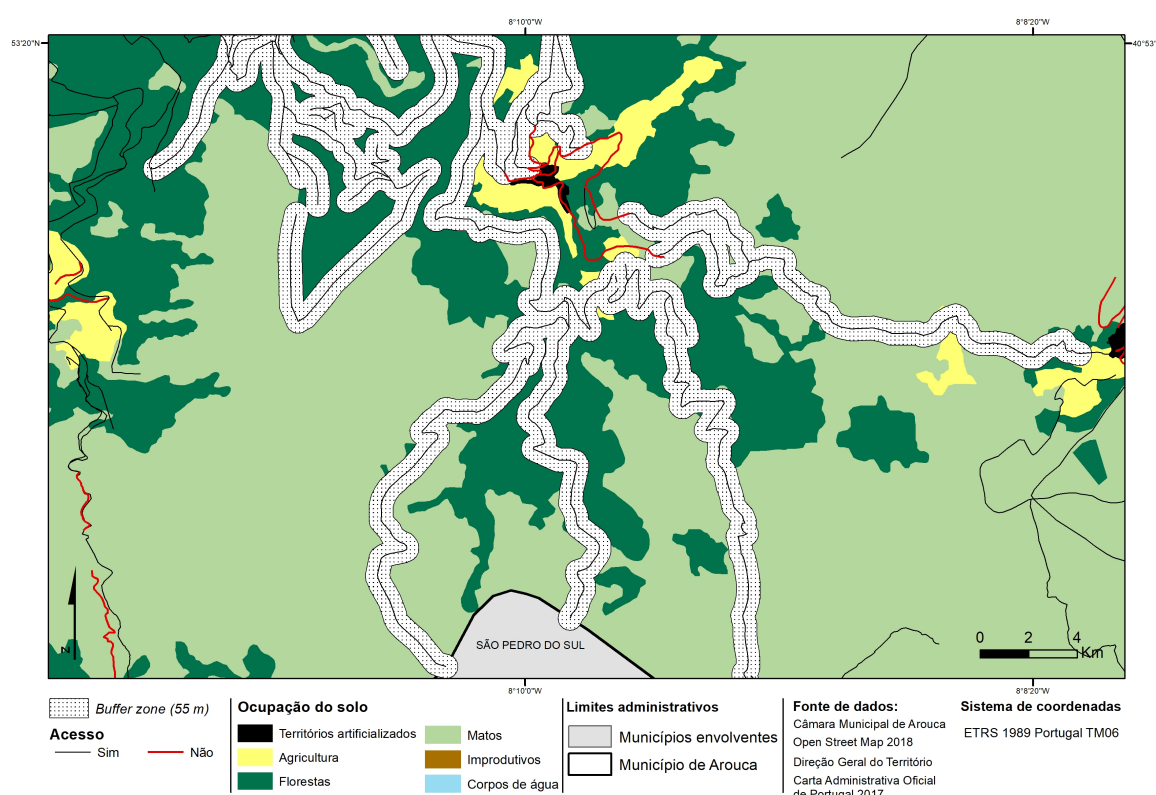


Figura 5.6: *Buffer zone* de 55 m nas vias de comunicação envolventes à povoação (A área edificada da aldeia corresponde à categoria de ocupação do solo Territórios artificializados).

Conclui-se que pelo menos 500 m em redor da aldeia não é possível defender de acordo com os parâmetros considerados e como já foi referido, só um VLCI consegue entrar no núcleo de povoamento (Fig. 5.7).

Verifica-se que de acordo com as características humanas e morfológicas da aldeia, esta se considera crítica e não defensável. Assim, em caso de áreas não defensáveis propõe-se:

i) o pré-posicionamento de meios, com o objetivo que as ignições sejam rapidamente controláveis, mas este nem sempre é possível devido à insuficiência de recursos ou a sua utilização em áreas de maior risco, ou outros teatros de operações;

ii) a execução de medidas de prevenção estrutural: melhoria de caminhos para melhorar a acessibilidade e a transitabilidade, assim como a construção de pontos de água que possam ser utilizados, mesmo numa situação de falha de energia;

iii) redução da vulnerabilidade das populações e das aldeias. Esta abordagem à escala do indivíduo e da comunidade é fundamental para prevenir e mitigar danos. Aqui é fundamental dar uma atenção particular à ocupação do solo. É importante manter as áreas agrícolas bem cuidadas e bem irrigadas, pois a existência de material fino e seco favorece a propagação de incêndios. É, igualmente, importante reduzir a quantidade de combustível nas áreas florestais, e evitar a utilização de espécies com elevada combustibilidade;

iv) Envolver as populações em todo o processo de prevenção do risco de incêndio e auxiliá-las para que tenham um papel ativo na proteção das suas vidas e defesa dos seus bens.

As propostas apresentadas são válidas para qualquer tipo de áreas não defensáveis.

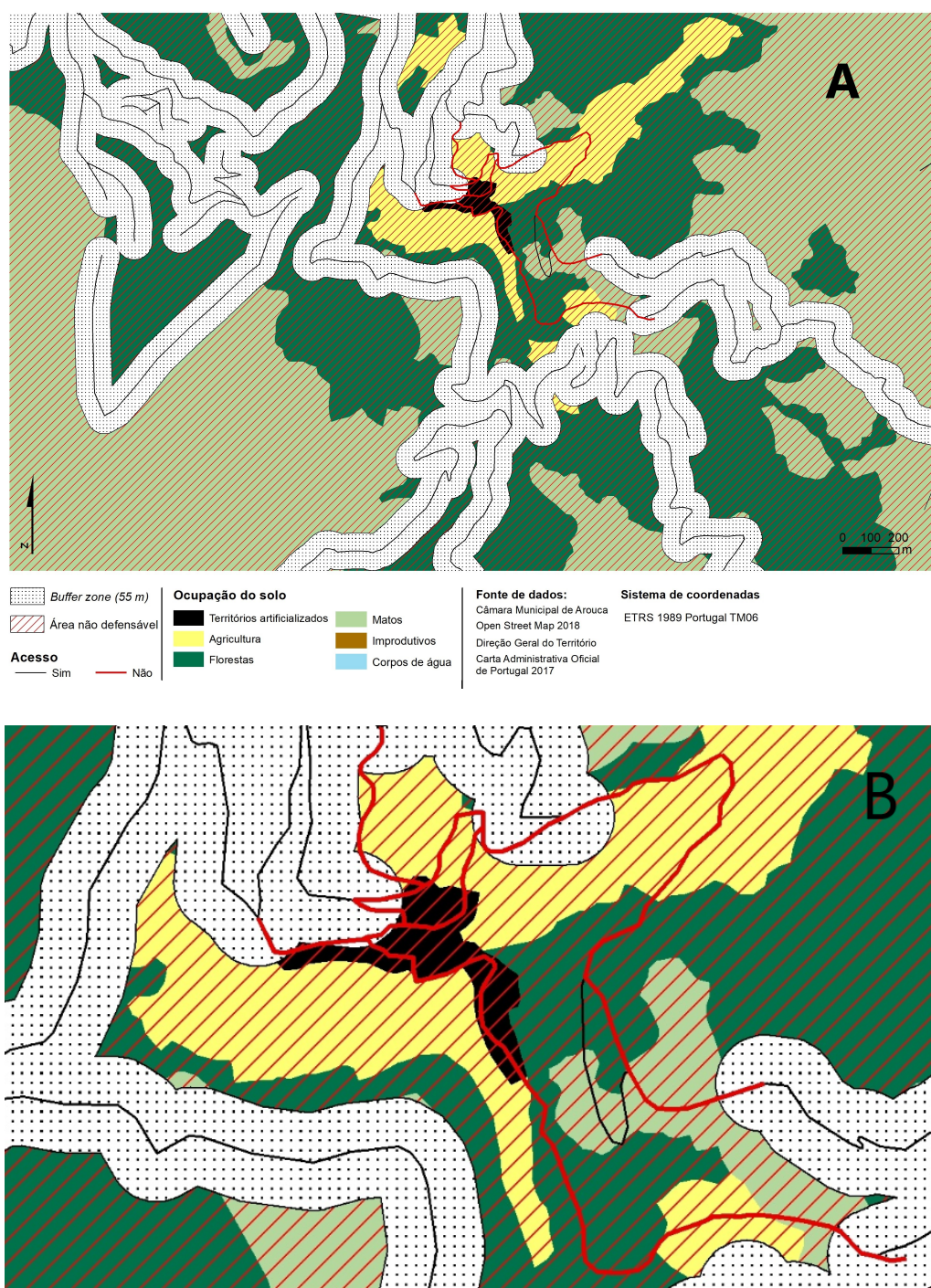


Figura 5.7: Identificação da área não defensável- exemplo da aldeia de Covêlo de Paivó (A) e *zoom* à aldeia (B).



# Conclusão

Os incêndios rurais são um dos flagelos que mais afetam o território português e têm vindo a ganhar cada vez mais importância devido à sua frequência, dimensão e intensidade. O ano de 2017 foi, sem dúvida alguma, o mais recente exemplo no que diz respeito à suscetibilidade de Portugal à ocorrência de incêndios extremos, atingindo uma extensão e intensidade nunca registadas, provocando um elevado número de mortos, que deixaram a sociedade portuguesa em choque. Para esta situação contribuíram nomeadamente as condições meteorológicas extremas associadas a dinâmicas territoriais que conduziram à acumulação de combustíveis e uma gestão do combate frágil, que favorece a ocorrência de eventos extremos e cuja frequência tem tendência a aumentar. As consequências trágicas do ano de 2017, evidenciaram a debilidade do sistema de combate português, que está focalizado na resposta operacional e não na preparação de sociedades resilientes aos incêndios que exigem, uma grande aposta na avaliação, na prevenção, na mitigação e numa resposta efetiva (Tedim 2018). Esta última é influenciada por vários fatores e condições, nomeadamente pela defensabilidade dos elementos expostos. A defensabilidade pode ser definida como uma característica de qualquer unidade espacial (p.ex. um edifício, uma comunidade, uma floresta) que no caso de ocorrência de um incêndio pode ser protegida por parte das forças operacionais e que depende da interação entre o tempo da primeira intervenção e a intensidade máxima do incêndio (Tedim, 2018). No quadro concetual definido neste trabalho de investigação consideram-se que as condições de defensabilidade são definidas pela rapidez da resposta, pela transitabilidade, pela existência dos pontos de água e pela simulação do comportamento do fogo.

No PMDFCI e no POM parte-se do princípio que independentemente do ponto de ignição de um incêndio é sempre possível defender uma povoação. Esta investigação permitiu demonstrar que o conceito de defensabilidade é crucial para: i) adequar a prevenção, reduzindo a vulnerabilidade dos elementos expostos e atuando na redução da intensidade de incêndios através da gestão do combustível; ii) justificar e organizar o pré-posicionamento de meios; iii) gerir de forma eficaz recursos reduzidos sobretudo em momentos de grande número de ocorrências simultâneas; iv) envolver ativamente as populações em todo o processo de prevenção, mitigação e resposta. Conscientes do interesse e da importância da avaliação da defensabilidade, esta investigação irá continuar



# Bibliografia

- Administração Interna, Ministério da (3 de jun. de 2016). *Despacho n.º 7316/2016*. Ed. por Série II Diário da República n.º 107/2016.
- Alexandre, Patricia M, Susan I Stewart, Miranda H Mockrin, Nicholas S Keuler, Alexandra D Syphard, Avi Bar-Massada, Murray K Clayton e Volker C Radeloff (2016). “The relative impacts of vegetation, topography and spatial arrangement on building loss to wildfires in case studies of California and Colorado”. Em: *Landscape ecology* 31.2, pp. 415–430.
- ANPC (2009). *Manual operacional- emrpego dos meios aéreos em operações de proteção civil*. Rel. téc. Autoridade Nacional de Proteção Civil.
- Armiero, M e W Palmieri (2002). “Boschi e rivoluzioni nel Mezzogiorno. La gestione, gli usi e le strategie di tutela nelle congiunture di crisi di regime (1799-1860)”. Em: *Diboscamento montano e politiche territoriali. Alpi e Appennini dal Settecento al Duemila*. Franco Angeli Storia, Milano, p. 598.
- Bachmann, A e B Allgower (1999). “The need for a consistent wildfire risk terminology”. Em: *The joint fire science conference and workshop: crossing the millennium: integrating spatial technologies and ecological principles for a new age in fire management*. Vol. 1, pp. 66–77.
- Bachmann, Andreas e Britta Allgöwer (2001). “A consistent wildland fire risk terminology is needed”. Em: *Fire Management Today* 61.4, pp. 28–33.
- Blanchi, Raphaelae, Joshua Whittakerb, Katharine Haynesc, Justin Leonarda e Kimberley Opiea (2018). “Surviving bushfire: the role of shelters and sheltering practices during the Black Saturday bushfires”. Em: *Environmental Science and Policy*.
- Buck, CJ (1936). “Forest roads or forest fires”. Em: *Regional Forester, US Forest Service. Pacific Sportsman* 401.
- Butler, BW, WR Anderson e EA Catchpole (2007). “Influence of slope on fire spread rate”. Em: *In: Butler, Bret W.; Cook, Wayne, comps. The fire environment–innovations, management, and policy; conference proceedings. 26-30 March 2007; Destin, FL. Proceedings RMRS-P-46CD. Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. CD-ROM. p. 75-82. Vol. 46.*
- Butler, CP (1974). “The urban/wildland fire interface”. Em: *Proceedings of western states section/Combustion Institute papers*. Vol. 74. 15, pp. 1–17.
- Caballero, David (2008). “Wildland-urban interface fire risk management: WARM project”. Em: *Proceedings of the Second International Symposium on Fire Economics, Planning, and Policy: a Global View (General Technical Report PSW-GTR-208). US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Albany, CA*, pp. 473–484.
- Cohen, Jack (2008). “The wildland-urban interface fire problem: A consequence of the fire exclusion paradigm”. Em: *Forest History Today. Fall: 20-26*. Pp. 20–26.
- Cohen, Jack D (2000). “Preventing disaster: home ignitability in the wildland-urban interface”. Em: *Journal of forestry* 98.3, pp. 15–21.
- Comissão municipal de defesa da floresta (mar. de 2015). *Plano municipal de defesa da floresta contra incêndios*. Rel. téc. Câmara Municipal de Arouca.



- Comissão Técnica Independente (2017). *Análise e apuramento dos factos relativos aos incêndios que ocorreram em Pedrogão Grande, Castanheira de Pêra, Ansião, Alvaiázere, Figueiró dos Vinhos, Arganil, Góis, Penela, Pampilhosa da Serra, Oleiros e Sertão, entre 17 e 24 de junho de 2017*. Rel. téc.
- Conselho de Ministros, Presidência do (1 de mar. de 2018). *Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2018*. Ed. por Série I Diário da República n.º 43/2018.
- Devy-Vareta, Nicole (1993). “A floresta no espaço e no tempo em Portugal: a arborização da Serra da Cabreira 1919-1975”. Em:
- Direção de Unidade de Defesa da Floresta (abr. de 2012). *Plano Municipal de defesa da floresta contra incêndios (PMDFCI)- Guia técnico*. Rel. téc.
- FAO (2011). *Forest Fire Management Glossary*. URL: <http://www.fao.org>.
- Félix, Fernando Ricardo Ferreira (2014). “Ensaio metodológico sobre a importância da modelação espacial da sinuosidade rodoviária para apoio à decisão no ataque inicial aos incêndios florestais: o exemplo da serra da Lousã”. Tese de mestrado. Universidade de Coimbra.
- Ferraz, Silvio FB e Carlos Alberto Vettorazzi (1998). “Mapeamento de risco de incêndios florestais por meio de sistema de informações geográficas (SIG)”. Em: *Scientia Forestalis, Piracicaba* 53, pp. 39–48.
- Finney, Mark A (2005). “The challenge of quantitative risk analysis for wildland fire”. Em: *Forest Ecology and Management* 211.1-2, pp. 97–108.
- Forman, Richard TT e Lauren E Alexander (1998). “Roads and their major ecological effects”. Em: *Annual review of ecology and systematics* 29.1, pp. 207–231.
- Galiana-Martín, Luis (2011). “The wildland-urban interface: a risk prone area in Spain”. Em: *Proceedings of the 5th International Wildland Fire Conference, Sun City*.
- Goodchild, Michael F (1992). “Geographical information science”. Em: *International journal of geographical information systems* 6.1, pp. 31–45.
- Hann, WJ, JL Jones, MG Karl, PF Hessburg, RE Keane, DG Long, JP Menakis, CH McNicoll, SG Leonard, RA Gravenmier *et al.* (1997). “Landscape Dynamics of the Basin. Volume 2 in Quigley, T. and S. Arbelbide, editors. An assessment of ecosystem components in the Interior Columbia Basin and portions of the Klamath and Great Basins”. Em: *Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-405*. USDA, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland, Oregon.
- Hardy, C.C. (2005). “Wildland fire hazard and risk: Problems, definitions, and context”. Em: *Forest ecology and management* 211, pp. 73–82.
- ICNF (abr. de 2012). *Plano Municipal de Defesa da Floresta contra Incêndios*. URL: [www.icnf.pt/portal/florestas/dfci/Resource/doc/guia-tec-pmdfci-abril12](http://www.icnf.pt/portal/florestas/dfci/Resource/doc/guia-tec-pmdfci-abril12).
- ICNF (2013). *6.º inventário Florestal Nacional- Áreas dos usos do solo e das espécies florestais de Portugal continental*. Rel. téc. Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território.
- ICNF (2016). URL: <http://www2.icnf.pt/portal/florestas/fileiras/resource/doc/Mercados-Florestais-2016.pdf>.
- INE (2011). *CENSOS*. Rel. téc. Instituto nacional de estatística.
- Julião, Rui Pedro, Fernanda Nery, José Luís Ribeiro, Margarida Castelo Branco e José Luís Zêzere (set. de 2009). *Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica (sig) de base municipal*. Rel. téc.
- Keane, R. E., Drury, Karau S. A., Hessburg E. C., P. F. e K. M. Reynolds (2010). “A method for mapping fire hazard and risk across multiple scales and its application in fire management”. Em: *Ecological Modelling* 221, pp. 2–18.

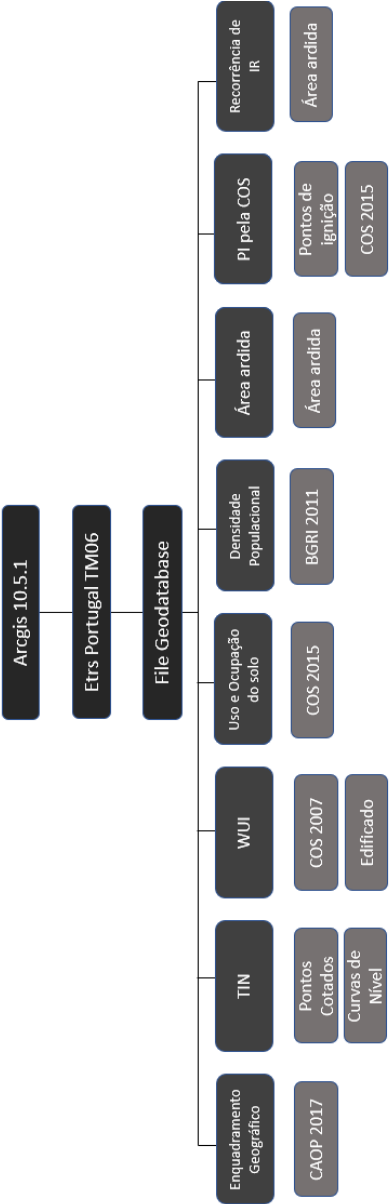


- Kuhlken, Robert (1999). "The Woods on Fire: Rural Incendiarism as Protest". Em: *Geographical Review* 89.3, pp. 343–363.
- Lampin-Maillet, Jappiot C., Long M., Morge M., D. e J. P. Ferrier (2009). "Characterization and mapping of dwelling types for forest fire prevention". Em: *Computers, Environment and urban systems* 33.3, pp. 224–232.
- Lourenço, Luciano (1986). "Consequências geográficas dos incêndios florestais nas serras de xisto do centro do país". Em: *Actas IV Colóquio Ibérico de Geografia*, pp. 943–957.
- Lourenço, Luciano e Adriano NAVE (2006). "O papel dos socacos na prevenção de incêndios florestais. Exemplo das bacias hidrográficas dos rios Alva e Alvoco (Serras do Açor e da Estrela)". Em: *Actas des Jornades sobre terrasses i prevenció e riscos naturals*, pp. 219–227.
- Mateus, Paulo e Paulo M Fernandes (2014). "Forest fires in Portugal: dynamics, causes and policies". Em: *Forest Context and Policies in Portugal*. Springer, pp. 97–115.
- Mell, William E, Samuel L Manzello, Alexander Maranghides, David Butry e Ronald G Rehm (2010). "The wildland–urban interface fire problem—current approaches and research needs". Em: *International Journal of Wildland Fire* 19.2, pp. 238–251.
- Miller, Carol e Peter Landres (2004). "Exploring information needs for wildland fire and fuels management". Em: *RMRS-GTR-127. Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station*. 36 p. 127.
- Ministério da Administração Interna (28 de set. de 2009). *Decreto-Lei n. 166/05*. Ed. por 2. série — N. 188 Diário da República.
- Moreira, Francisco, Filipe X Catry, Francisco Rego e Fernando Bacao (2010). Em: *Landscape Ecology* 25.9, pp. 1405–1417.
- Município de Arouca (11 de ago. de 2016). *1.ª alteração ao Plano Director Municipal de Arouca*. Ed. por Diário da República n.º 154/2016.
- Mutch, Robert W, Michael J Rogers, Scott L Stephens e A Malcolm Gill (2011). "Protecting lives and property in the wildland–urban interface: communities in Montana and southern California adopt Australian paradigm". Em: *Fire technology* 47.2, pp. 357–377.
- Narayanaraj, Ganapathy e Michael C Wimberly (2011). "Influences of forest roads on the spatial pattern of wildfire boundaries". Em: *International Journal of Wildland Fire* 20.6, pp. 792–803.
- NWCG (dez. de 2017). *Extreme Fire Behavior 2*. URL: <https://www.nwcg.gov/committee/6mfs/extreme-fire-behavior2>.
- NWCG (2018). *Glossary of Wildland Fire Terminology*. URL: <https://www.nwcg.gov/glossary/a-z>.
- NWCG, NWCG (mai. de 2011). *Glossary of Wildland Fire Terminology*.
- Penman, TD, Christine Eriksen, R Bianchi, M Chladil, A Malcom Gill, K Haynes, Justin Leonard, Jim McLennan e Ross A Bradstock (2013). "Defining adequate means of residents to prepare property for protection from wildfire". Em: *International Journal of Disaster Risk Reduction* 6, pp. 67–77.
- Peucker, Thomas K, Robert J Fowler, James J Little e David M Mark (1978). "The triangulated irregular network". Em: *Amer. Soc. Photogrammetry Proc. Digital Terrain Models Symposium*. Vol. 516. Citeseer, p. 532.
- Plataforma Integrada de Gestão de Riscos (2018). *Risco de Incêndios Florestais*. Ed. por ESRI. ESRI. URL: <http://www.esriportugal.pt/Inovacao-PGIR-Incendios-Florestais>.
- Protecção Civil, Autoridade Nacional de (2018). *Diretiva Operacional Nacional n.º2- DECIR*. Rel. téc.
- Pyne, Stephen J (1997). *World fire: the culture of fire on earth*. University of Washington press.

- Reed, Rebecca A, Julia Johnson-Barnard e William L Baker (1996). “Contribution of roads to forest fragmentation in the Rocky Mountains”. Em: *Conservation Biology* 10.4, pp. 1098–1106.
- Rehm, Ronald G, Anthony Hamins, Howard R Baum, Kevin B McGrattan e David D Evans (2001). “Community-scale fire spread”. Em: *Proceedings of the California 2001 Wildfire Conference*. Vol. 10, pp. 126–139.
- Roloff, G. J., S. P. Mealey, Clay, C., J. Barry, C. Yanish e L Neuenschwande (2005). “A process for modeling short- and long-term risk in the southern Oregon Cascades”. Em: *Forest Ecology and Management* 211, pp. 166–190.
- San-Miguel-Ayanz, Jesús, Tracy Houston Durrant, Roberto Boca, Giorgio Libertà, Alfredo Branco, Daniele de Rigo, Davide Ferrari, Pieralberto Maianti, Tomás Artes Vivancos, Ernst Schulte e et al. (2017). *Forest fires in Europe, Middle East and North Africa 2016*. Joint Research Centre. European Commission. URL: [http://effis.jrc.ec.europa.eu/media/cms\\_page\\_media/40/Forest\\_fires\\_in\\_Europe\\_Middle\\_east\\_and\\_North\\_Africa\\_2016\\_final\\_pdf\\_JZU7HeL.pdf](http://effis.jrc.ec.europa.eu/media/cms_page_media/40/Forest_fires_in_Europe_Middle_east_and_North_Africa_2016_final_pdf_JZU7HeL.pdf).
- SNIRH (2018). Ed. por Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos. SNIRH. URL: <https://snirh.apambiente.pt/>.
- Society for risk analysis (2008). *Glossary*.
- Suzuki, Sayaka, Adam Brown, Samuel L Manzello, Junichi Suzuki e Yoshihiko Hayashi (2014). “Firebrands generated from a full-scale structure burning under well-controlled laboratory conditions”. Em: *Fire Safety Journal* 63, pp. 43–51.
- Syphard, Alexandra D, Volker C Radeloff, Jon E Keeley, Todd J Hawbaker, Murray K Clayton, Susan I Stewart e Roger B Hammer (2007). “Human influence on California fire regimes”. Em: *Ecological applications* 17.5, pp. 1388–1402.
- Syphard, Alexandra D, Volker C Radeloff, Nicholas S Keuler, Robert S Taylor, Todd J Hawbaker, Susan I Stewart e Murray K Clayton (2008). “Predicting spatial patterns of fire on a southern California landscape”. Em: *International Journal of Wildland Fire* 17.5, pp. 602–613.
- Tedim, Fantina (2018). “O futuro dos incêndios rurais em Portugal: Será possível construir uma sociedade resiliente a eventos extremos?” Em: *O rural depois do fogo*.
- Tedim, Fantina, Vittorio Leone, Malik Amraoui, Christophe Bouillon, Michael R. Coughlan, Giuseppe M. Delogu, Paulo M. Fernandes, Carmen Ferreira, Sarah McCaffrey, Tara K. McGee, Joana Parente, Douglas Paton, Mário G. Pereira, Luís M. Ribeiro, Domingos X. Viegas e Gavriil Xanthopoulos (2018). “Defining Extreme Wildfire Events: Difficulties, Challenges, and Impacts”. Em: *Fire* 9.
- Teie, WC e BF Weatherford (2000). *Fire in the west: The wildland/urban interface fire problem. Report to the Council of Western State Foresters. Rescue*.
- Thompson, Matthew P, Alan A Ager, Mark A Finney, Dave E Calkin e Nicole M Vaillant (2012). “The science and opportunity of wildfire risk assessment”. Em: *Novel Approaches and Their Applications in Risk Assessment*. InTech.
- Vasconcelos, A. (2013). “Avaliação da susceptibilidade à ocorrência de incêndios florestais no concelho de Leiria”. Tese de doutoramento.
- Vélez, R. (1985). “Estudios sobre prevención y efectos ecológicos de los incendios forestales”. Em: ICONA. Cap. Aplicación de la predicción del peligro para la prevención de los incendios forestales.
- Viegas, X.D. (2012). *Extreme fire behaviour*.
- Watts, Raymond D, Roger W Compton, John H McCammon, Carl L Rich, Stewart M Wright, Tom Owens e Douglas S Ouren (2007). “Roadless space of the conterminous United States”. Em: *science* 316.5825, pp. 736–738.

## **Anexos**





Anexo A.1: Dados utilizados.



iPad 23:21 71%

## Caminhos Florestais

Esvaziar o conteúdo da descrição do estudo? Poderá pretender ocultar isto no separador Aspetto.

Largura da Via

☐ Menos de 3 metros

☒ Mais de 3 metros

Pavimento

☒ Terra

☐ Pedra

☐ Alcatrão

Estado de Limpeza

☐ Limpo

☒ Parcialmente ocupado

☐ Obstruído

i ✓

Anexo A.3: Survey 123

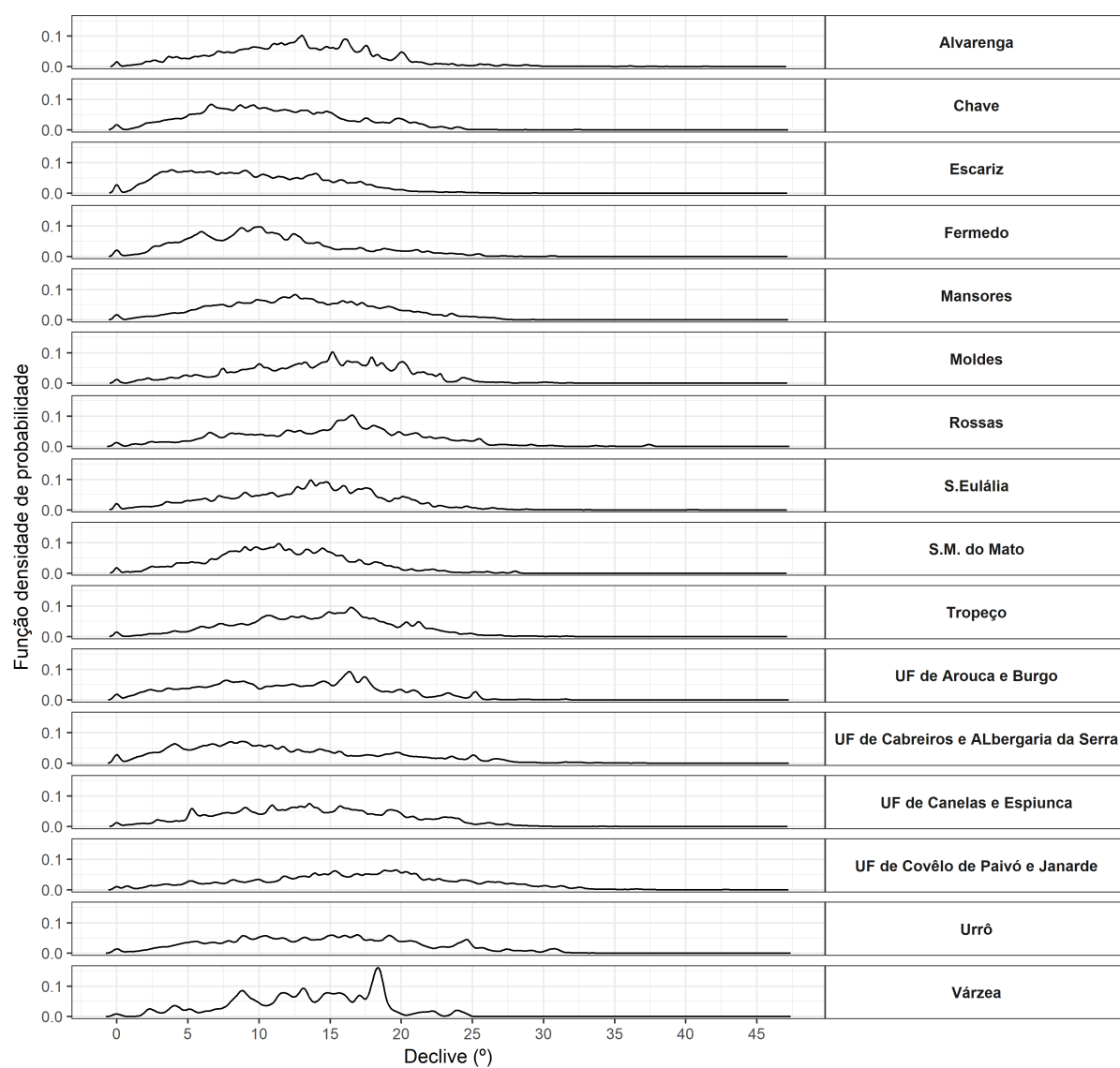
## Anexo A.4: Área das freguesias

Freguesia	Área ( $km^2$ )
Alvarenga	38,76
Chave	10,91
Escariz	17,98
Fernedo	11,10
Mansores	14,08
Moldes	28,01
Rossas	11,11
Santa Eulália	23,05
São Miguel do Mato	17,10
Tropeço	17,84
Urrô	10,79
Várzea	1,79
UF de Arouca e Burgo	15,25
UF de Cabreiros e Albergaria da Serra	31,23
UF de Canelas e Espiunca	35,73
UF de Covêlo de Paivó e Janarde	44,38
Total	329,11

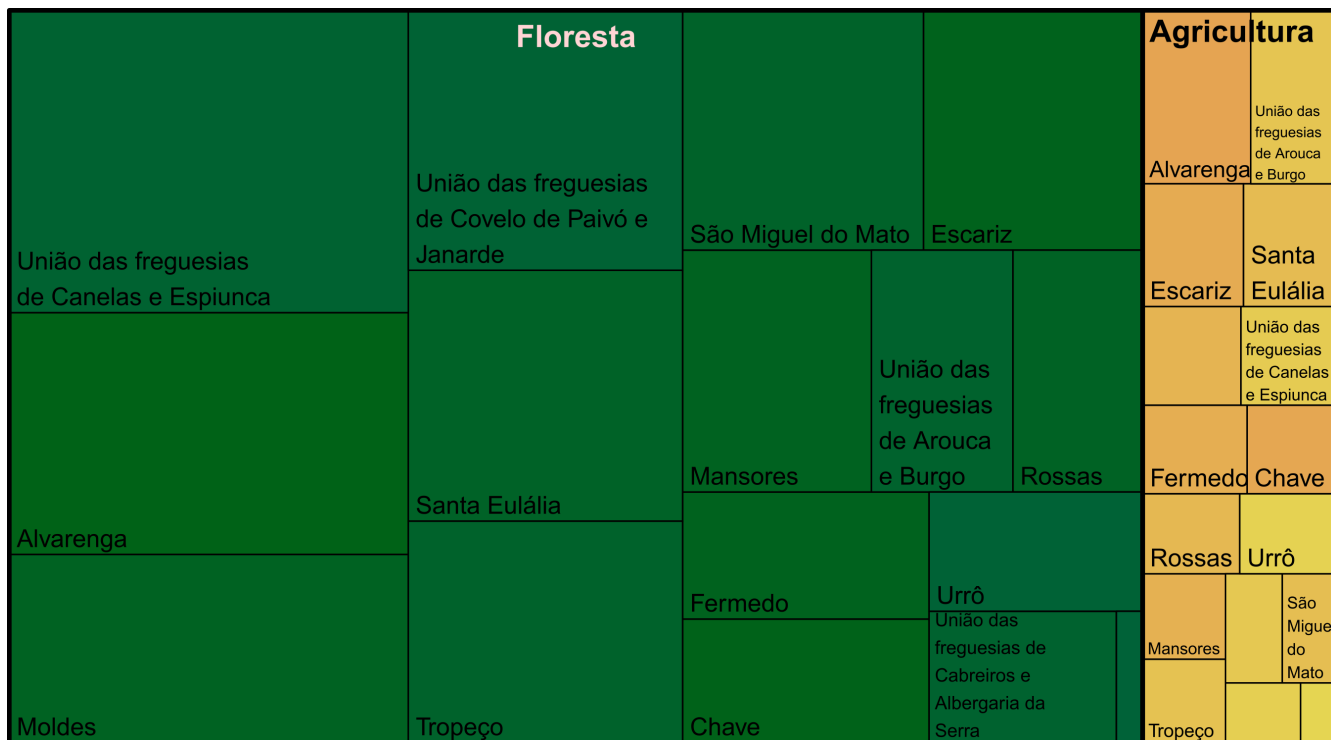


Anexo A.5: Exposição por freguesia na área de estudo.

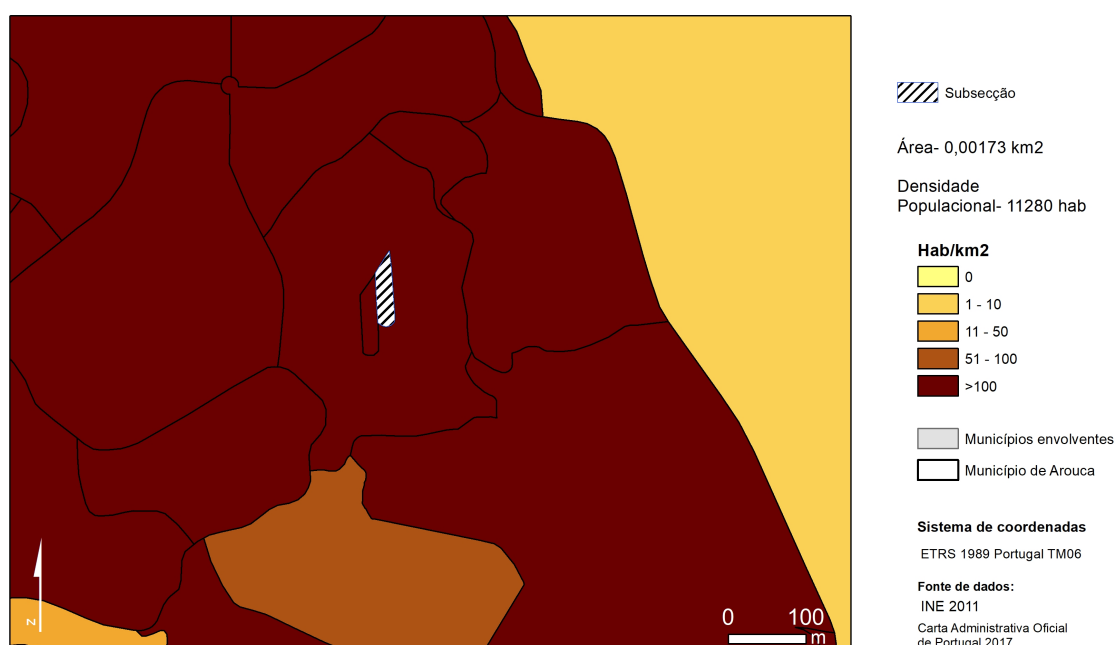
Freguesia	Plano	Exposição (%)								Total
		Norte	Nordeste	Este	Sudeste	Sul	Sudoeste	Oeste	Noroeste	
Alvarenga	0,04	7,8	5,26	3,11	5,95	16,13	26,44	22,62	12,65	100
Chave	0,09	24,13	21,38	19,21	8,31	3,87	2,59	3,57	16,85	100
Escariz	0,11	14,35	12,99	8,84	13,2	11,48	10,57	14,6	13,86	100
Fernedo	0,09	14,41	18,34	12,08	10,44	12,98	7,98	10,08	13,6	100
Mansores	0,06	17,27	17,36	21,14	7,22	8,51	2,77	7,53	18,14	100
Moldes	0,05	16,21	22,96	17,85	13,28	8,98	5,61	3,33	11,73	100
Rossas	0,19	23,43	22,34	6,59	5,55	6,97	9,82	7,07	18,04	100
Santa Eulália	0,14	16,62	7,54	6,71	9,47	15,03	9,88	13,31	21,3	100
São Miguel do Mato	0,04	13,89	11,99	8,84	15,13	12,46	10,66	11,22	15,77	100
Tropeço	0,02	16,32	8,29	4,06	4,58	12,92	14,74	17,93	21,14	100
UF de Arouca e Burgo	0,23	16,17	3,92	4,66	4,82	14,38	18,1	13,38	24,34	100
UF de Canelas e Espiunca	0,04	8,78	24,17	4,52	4,32	14,38	18,06	11,38	14,35	100
UF de Cabreiros e Albergaria da Serra	0,25	12,61	20,05	14,24	8,75	11,21	9,67	12,03	11,19	100
UF de Covêlo de Paivó e Janarde	0,04	12,68	14,32	7,2	5,04	11,04	12,93	18,35	18,4	100
Urrô	0,19	27,73	10,95	2,93	7,41	11,2	8,69	11,24	19,66	100
Várzea	0,02	5,26	2,69	9,79	30,25	35,07	11,88	0,66	4,38	100



Anexo A.6: Distribuição de declives por freguesia..



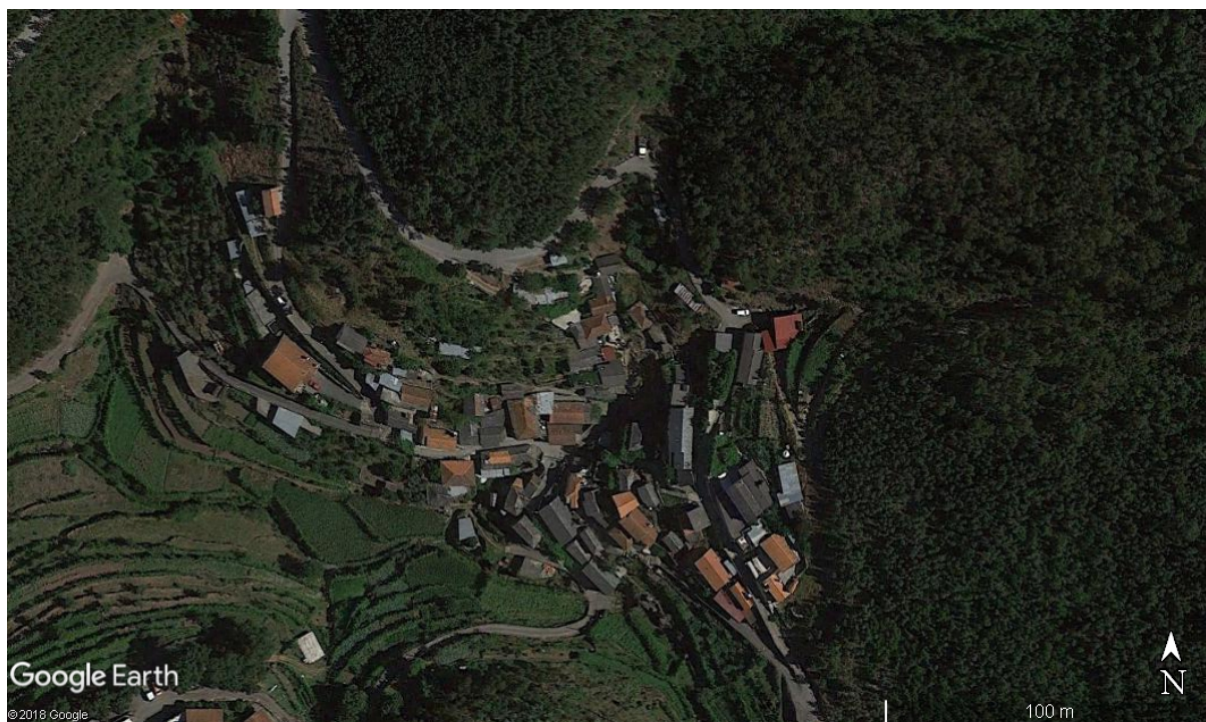
Anexo A.7: Área ocupada pela floresta e pela agricultura na área de estudo.



Anexo A.8: Exemplo de subsecção da área de estudo.

## Anexo A.9: Extensão da rede viária do município de Arouca em Km

Freguesia	E nacional	E regional	E municipal	C florestal
Alvarenga	6,335	6,160	72,492	97,66
Chave	4,050	0	49,992	8,568
Escariz	14,27	0	65,350	11,045
Fermedo	1,555	0	56,559	16,375
Mansores	8,450	0	42,469	18,847
Moldes	0	7,520	94,417	69,966
Rossas	8,958	0	48,137	8,614
Santa Eulália	12,58	0	78,893	60,174
São Miguel do Mato	0	0	44,893	79,658
Tropeço	3,187	0	77,549	12,628
UF de Arouca e Burgo	9,504	3,167	101,90	20,711
UF de Cabreiros e Albergaria da Serra	0	6,009	100,08	16,189
UF de Canelas e Espiunca	9,487	0	125,03	116,101
UF de Covêlo de Paivó e Janarde	0	0	116,15	73,119
Urrô	5,564	0	53,545	10,796
Várzea	1,76	0	14,018	0
Total	85,704	22,856	1141,474	620,151



Anexo A.10: Exemplo da Aldeia de Telhe.





Anexo A.11: Exemplo da Aldeia de Cabreiros.



Anexo A.12: Exemplo da Aldeia de Carvalhais.





Anexo A.13: Exemplo da Aldeia de Castanheira.



Anexo A.14: Exemplo da Aldeia de Covêlo de Paivó.





Anexo A.15: Exemplo da Aldeia de Quintela.



Anexo A.16: Exemplo da Aldeia de Tebilhão.